



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
MESTRADO ACADÊMICO EM RECURSOS NATURAIS**

ANA CLARICE MELO AZEVEDO

**ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DO SOLO E DA RIZOSFERA DE OLEAGINOSAS
IRRIGADAS COM ÁGUA PRODUZIDA NO SEMIÁRIDO**

FORTALEZA - CEARÁ

2015

ANA CLARICE MELO AZEVEDO

ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DO SOLO E DA RIZOSFERA DE OLEAGINOSAS
IRRIGADAS COM ÁGUA PRODUZIDA NO SEMIÁRIDO

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico em Recursos Naturais da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial para à obtenção do Título de Mestre em Recursos Naturais.

Área de concentração: Aproveitamento de Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dr. Olmar Baller Weber

FORTALEZA - CEARÁ

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Universidade Estadual do Ceará

Sistema de Bibliotecas

Azevedo, Ana Clarice Melo .

Atributos biológicos do solo e da rizosfera de oleaginosas irrigadas com água produzida no semiárido [recurso eletrônico] / Ana Clarice Melo Azevedo. - 2015.

1 CD-ROM: il.; 4 ¾ pol.

CD-ROM contendo o arquivo no formato PDF do trabalho acadêmico com 63 folhas, acondicionado em caixa de DVD Slim (19 x 14 cm x 7 mm).

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, Mestrado Acadêmico em Recursos Naturais, Fortaleza, 2015.

Área de concentração: Aproveitamento de Recursos Naturais..

Orientação: Prof. Dr. Olmar Baller Weber.

1. Água produzida. 2. Atributos biológicos. 3. oleaginosas. 4. semiárido. I. Título.



Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais
Universidade Estadual do Ceará
Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa
Centro de Ciências e Tecnologia

FOLHA DE APROVAÇÃO – DEFESA DE DISSERTAÇÃO

ALUNO: ANA CLARICE MELO AZEVEDO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: "ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DO SOLO E DA RIZOSFERA DE OLEAGINOSAS IRRIGADAS COM ÁGUA PRODUZIDA NO SEMIÁRIDO"

PROFESSOR ORIENTADOR: Prof. Dr. Olmar Baller Weber

BANCA EXAMINADORA:

CONCEITO

ASSINATURA

Prof. Dr. Olmar Baller Weber - EMBRAPA
(Presidente)

8,5

Olmar Baller Weber

Prof. Dr. Eliseu Marônio Pereira de Lucena, UECE
(Examinador)

9,5

Eliseu Marônio Pereira de Lucena

Profa. Dra. Cláudia Miranda Martins, UFC
(Examinadora)

9,5

Cláudia Miranda Martins

DATA DA APROVAÇÃO: 26 de Fevereiro de 2015.

HORÁRIO: 08:00 hs

LOCAL: Auditório do Centro de Ciências e Tecnologia - UECE

Dedico esta Dissertação à minha família que sempre me ensinou o valor da educação.

AGRADECIMENTOS

A Deus primeiramente, pelo dom da vida e da sabedoria para poder superar e vencer todos os obstáculos durante o curso do mestrado.

Ao meu esposo, Daniel Marlon Albino de Menezes, pela força, carinho, amor e compreensão e por sempre acreditar em mim.

À minha família, pela cumplicidade e amor em todos os momentos.

Aos meus amigos, Denis Andrade, Vinícius Leite, Raimundo Nonato Ferreira e Andreia Silva, pela ajuda incondicional na realização do estudo.

Aos meus amigos, essenciais em todos os momentos, a família que Deus me deu de presente, Alexandre Barros, Allyson Queiroz, Ana Carolina Nobre, Ana Lúcia Feitoza, Carlos Alberto Gomes, Claita Carneiro, Lidiane de Aguiar, Nigéria Gonçalves, Pablito Augusto e Soraya Marques.

Ao Coordenador, Prof. Dr. Carlucio Roberto Alves pela sua atenção e dedicação aos alunos do Mestrado Acadêmico em Recursos Naturais.

Ao meu amigo orientador Olmar Baller Weber, pelos ensinamentos e pela paciência durante a execução da pesquisa e elaboração da Dissertação.

Ao meu anjo da guarda Claita Carneiro, pelo apoio e dedicação como representante dos alunos do mestrado.

Aos participantes da Banca de Qualificação: Prof. Dr. Oriel Herrera Bonilla, Prof.^a Dr.^a Jane Eire Silva Alencar de Menezes e Prof. Dr. Eliseu Marlônio Pereira de Lucena, pela contribuição para melhoria do trabalho.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), por possibilitar a realização da pesquisa.

À Fundação Arthur Bernardes (FUNARBE), pelo o apoio financeiro.

RESUMO

A água produzida é o principal resíduo na indústria de exploração do petróleo, tendo sua origem nas fendas de rochas subterrâneas. Estudos indicaram que esse tipo de água tratada em plantas industriais pode ter aplicação na irrigação de culturas de oleaginosas, usadas na produção de biodiesel, como alternativa a irrigação com água doce. Este estudo teve por objetivo avaliar o efeito de água produzida sobre atributos biológicos na rizosfera de cultivares de girassol (*Helianthus annuus* L.) BRS 321 durante três ciclos de produção e de mamona (*Ricinus communis* L.) BRS Energia, ao longo de dois e três ciclos, respectivamente, além de propor indicadores de qualidade do solo para culturas bioenergéticas no semiárido. Esta pesquisa foi conduzida em área experimental da Fazenda Belém, em Aracati, estado do Ceará (Brasil), onde ambas as culturas foram submetidas à irrigação com água produzida filtrada (APF), água produzida tratada por osmose reversa (APO), água do aquífero Açu (ACA) e sem irrigação (regime de sequeiro) (SEQ). Os tratamentos com três repetições (parcelas de 200 m²) foram avaliados em períodos de pré-cultivo, nas fases de reprodução das plantas e próximo a fase de colheita de grãos das culturas, pela respiração edáfica (Re), carbono orgânico total (COT), densidade populacional de bactérias cultiváveis (Bact) e fungos filamentosos cultiváveis (Fung) do solo, e nas fases de florescimento pleno das plantas pela intensidade de colonização micorrízica arbuscular (CM). A interação dos fatores de irrigação e épocas foi confirmada para Re, COT, Bact e CM na cultura do girassol, e para Re na de mamona. A respiração edáfica, o carbono orgânico e as populações de fungos filamentosos e bactérias cultiváveis do solo são sensíveis às águas de irrigação da cultura de girassol cv BRS 321. Por sua vez, a irrigação da cultura de mamona afeta somente a fração do carbono que é prontamente decomponível, a respiração do solo. Nas condições deste estudo, a irrigação com APF pode ser alternativa de produção de mamona e girassol para obtenção de biodiesel no curto período de tempo. Em trabalhos futuros devem ser consideradas as avaliações de atributos biológicos do solo no médio e longo prazo, de forma a viabilizar a produção mais sustentável das oleaginosas no semiárido.

Palavras-chave: Resíduo. Qualidade do solo. Microbiologia do solo. *Ricinus communis* L. *Helianthus annuus* L.

ABSTRACT

Produced water is the main residue in the oil exploration industry, having its origin in the crevices of rocks underground. Studies have indicated that this type of water treated in industrial plants may have application in irrigation of oil crops, used in production of biodiesel as an alternative to irrigation with fresh water. This study aimed to evaluate the effect of produced water on biological attributes in the rhizosphere of sunflower (*Helianthus annuus* L.) BRS 321 and castor bean (*Ricinus communis* L.) BRS Energy, over two and three cycles, respectively, in addition to proposing soil quality indicators for bioenergy crops in the semiarid region. This research was carried out at the experimental area of Belém farm in Aracati, states of Ceará (Brazil), where both cultures were subjected to irrigation with filtered produced water (FWP), produced water treated by reverse osmosis (PWO), underground water captured from Açu aquifer (AWA), and without irrigation (dry basis) (SEQ). The treatments with three replicates (plots of 200 m²) were evaluated at pre-cultivation period, and the plant reproduction phase, before to harvesting grain crops, by the edaphic respiration (Er), total organic carbon (TOC), population of culturable bacteria (Bact) and filamentous fungi (Fung) in soil, and at the blooming stage by the arbuscular mycorrhizal colonization (MC). The interaction of factors involving irrigation and evaluation periods treatments was confirmed here for the attributes Er, TOC, Bact and MC in the sunflower crop and for Er in the castor bean. The soil respiration, organic carbon and the culturable bacteria and filamentous fungi are sensitive to the type of water used for irrigation the sunflower cultivar. In turn, the irrigation of castor crop affects only readily mineralized carbon, quantified by soil respiration. For the conditions of this study, the cultivation of sunflower and castor bean crops irrigated with APF can be considered for a short period of time. In future work should take into account the biological properties of the soil in the medium and long term, in order to enable more sustainable production of oilseeds in the Brazilian semiarid.

Keywords: Residue. Soil quality. Soil microbiology. *Ricinus communis* L. *Helianthus annuus* L.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-	Imagem aérea da área experimental na Fazenda Belém obtida por satélite.....	22
Figura 2-	Layout: Culturas X Tipos de água e manejo de sequeiro.....	23
Figura 3-	(A) Parcela da área experimental cultivada com Girassol BRS 321 e (B) detalhe de girassol BRS 321.....	24
Figura 4-	(C) Parcela da área experimental cultivada com mamona BRS Energia e (D) detalhe de mamona BRS Energia.....	25
Figura 5-	Precipitação mensal observada na área de estudo durante a fase de execução dos experimentos na Fazenda Belém, em Aracati CE.....	25
Figura 6-	Esquema das etapas de produção de APF.....	26
Figura 7-	Esquema das etapas de produção de APO.....	26
Figura 8-	Diferentes tubulações para distribuição da água produzida filtrada (APF), água produzida tratada por osmose reversa (APO) e água captada do aquífero (ACA).....	27
Figura 9-	Fragmentos colonizados de raiz de girassol BRS 321, ampliados 400x.....	30
Figura 10-	Fragmentos colonizados de raiz de mamona BRS Energia, ampliados 400x.....	30
Figura 11-	Valores médios de respiração edáfica (Re) na cultura do girassol em razão dos tratamentos de irrigação e às épocas de amostragem do solo.....	33
Figura 12-	Valores médios de respiração edáfica (Re) na cultura da mamona em razão dos tratamentos de irrigação e às épocas de amostragem do solo.....	33
Figura 13-	Valores médios de carbono orgânico total (COT) na cultura do girassol em razão dos tratamentos de irrigação e às épocas de amostragem do solo.....	38
Figura 14-	Valores médios de carbono orgânico total (COT) na cultura da mamona em razão dos tratamentos de irrigação e às épocas de amostragem do solo.....	39

Figura 15-	Valores médios da densidade populacional de bactérias cultiváveis (Bact) do solo na cultura do girassol em razão dos tratamentos de irrigação e às épocas de amostragem do solo.....	43
Figura 16-	Valores médios da densidade populacional de bactérias cultiváveis (Bact) do solo na cultura da mamona em razão dos tratamentos de irrigação e às épocas de amostragem do solo.....	44
Figura 17-	Valores médios da densidade populacional de fungos filamentosos cultiváveis (Fung) do solo na cultura do girassol em razão dos tratamentos de irrigação e às épocas de amostragem do solo.....	46
Figura 18-	Valores médios da densidade populacional de fungos filamentosos cultiváveis (Fung) do solo na cultura da mamona em razão dos tratamentos de irrigação e às épocas de amostragem do solo.....	47
Figura 19-	Intensidade de colonização micorrízica arbuscular das plantas de girassol, em razão dos tratamentos de irrigação e os ciclos de cultivo.....	50
Figura 20-	Intensidade de colonização micorrízica arbuscular das plantas de mamona em razão dos tratamentos de irrigação e os ciclos de cultivo.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Resultados das análises de alguns parâmetros da água produzida, obtida do processo de produção do petróleo.....	18
Tabela 2-	Valores de p associados ao teste F para respiração edáfica (Re) do solo rizosférico de plantas de girassol e mamona em razão dos fatores de irrigação (I) e épocas de amostragem do solo (E) na Fazenda Belém, em Aracati (CE).....	32
Tabela 3-	Estimativas de diferenças (D) e valores de p associados ao teste t entre médias da respiração edáfica (Re) do solo rizosférico cultivado com girassol oleífero durante o primeiro, segundo e terceiro ciclos de produção, dos tratamentos de irrigação e das épocas.....	35
Tabela 4-	Estimativas de diferenças (D) e valores de p associados ao teste t entre médias de Re do solo rizosférico sob cultivo com mamona durante o primeiro e o segundo ciclo de produção, dos tratamentos de irrigação e das épocas.....	37
Tabela 5-	Valores de p associados ao teste F para carbono orgânico total (COT) do solo rizosférico de plantas de girassol e mamona em razão dos fatores de irrigação (I) e épocas de amostragem do solo (E) na Fazenda Belém, em Aracati (CE).....	37
Tabela 6-	Estimativas de diferenças (D) e valores de p associados ao teste t entre médias de COT do solo rizosférico cultivado com girassol oleífero durante o primeiro, segundo e terceiro ciclos de produção, dos tratamentos de irrigação e das épocas.....	40
Tabela 7-	Estimativas de diferenças (D) e valores de p associados ao teste t entre médias de COT do solo rizosférico sob cultivo com mamona durante o primeiro e o segundo ciclo de produção, dos tratamentos de irrigação e das épocas.....	41
Tabela 8-	Valores de p associados ao teste F para densidade populacional de bactérias cultiváveis (Bact) do solo de girassol e de mamona em razão dos fatores de irrigação (I) e épocas de amostragem do solo (E) na Fazenda Belém, em Aracati (CE).....	41

Tabela 9-	Estimativas de diferenças (D) e valores de p associados ao teste t entre médias de Bact do solo rizosférico cultivado com girassol oleífero durante o primeiro e o segundo ciclo de produção, dos tratamentos de irrigação e das épocas.....	43
Tabela 10-	Estimativas de diferenças (D) e valores de p associados ao teste t entre médias de Bact do solo rizosférico cultivado com mamona durante o primeiro e o segundo ciclo de produção, dos tratamentos de irrigação e das épocas.....	44
Tabela 11-	Valores de p associados ao teste F para densidade populacional de fungos filamentosos cultiváveis (Fung) do solo de girassol e de mamona em razão dos fatores de irrigação (I) e épocas de amostragem do solo (E) na Fazenda Belém, em Aracati (CE).....	45
Tabela 12-	Estimativas de diferenças (D) e valores de p associados ao teste t entre médias de Fung do solo rizosférico cultivado com girassol oleífero durante o primeiro, segundo e terceiro ciclos de produção, dos tratamentos de irrigação e das épocas.....	47
Tabela 13-	Estimativas de diferenças (D) e valores de p associados ao teste t entre médias de Fung do solo rizosférico cultivado com mamona durante o primeiro e o segundo ciclo de produção, dos tratamentos de irrigação e das épocas.....	48
Tabela 14-	Valores de p associados ao teste F para intensidade de colonização micorrízica arbuscular (CM) das plantas de girassol e mamona, em razão dos fatores de irrigação (I) e os ciclos de cultivo (E) na Fazenda Belém, em Aracati (CE).....	49
Tabela 15-	Estimativas de diferenças (D) e valores de p associados ao teste t entre médias de colonização micorrízica arbuscular de plantas de girassol durante o primeiro e o segundo ciclo de produção, dos tratamentos de irrigação e das épocas.....	51
Tabela 16-	Estimativas de diferenças (D) e valores de p associados ao teste t entre médias de CM do solo rizosférico cultivado com mamona durante o primeiro e o segundo ciclo de produção, dos tratamentos de irrigação e das épocas.....	53

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1	DEFINIÇÃO E FORMAÇÃO DA ÁGUA PRODUZIDA	16
2.2	COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE PETRÓLEO	16
2.3	TRATAMENTO E PRÁTICAS DE REUSO DE ÁGUA PRODUZIDA	16
2.4	CULTURAS BIOENERGÉTICAS: GIRASSOL E MAMONA	18
2.5	INDICADORES MICROBIOLÓGICOS DE QUALIDADE DO SOLO	19
2.5.1	Respiração edáfica (Re)	20
2.5.2	Carbono orgânico total (COT)	20
2.5.3	Densidade populacional de bactérias cultiváveis (Bact) e fungos filamentosos cultiváveis (Fung)	21
2.6	AVALIAÇÃO DA INTENSIDADE DE COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA ARBUSCULAR (CM)	21
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1	ÁREA ANALISADA	22
3.2	MANEJO DO SOLO, COLETA DE SOLO E DE RAÍZES	23
3.3	PRECIPITAÇÃO MENSAL	25
3.4	TRATAMENTO DA ÁGUA RESIDUÁRIA E DISTRIBUIÇÃO DE APF E APO	26
3.5	ANÁLISE QUÍMICA DOS TIPOS DE ÁGUA (APF, APO E ACA)	27
3.6	INDICADORES BIOLÓGICOS DO SOLO.....	28
3.6.1	Respiração edáfica do solo (Re)	28
3.6.2	Carbono Orgânico Total do solo (COT)	28
3.6.3	Quantificação das unidades formadoras de colônias (UFC) de bactérias e fungos filamentosos do solo	28
3.7	AVALIAÇÃO DA COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA ARBUSCULAR	29
3.8	ANÁLISE ESTATÍSTICA	31
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1	ATRIBUTOS DO SOLO	32
4.2	COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA ARBUSCULAR	49
5	CONCLUSÕES	54

REFERÊNCIAS	55
--------------------------	-----------

1 INTRODUÇÃO

A indústria petrolífera gera diversos resíduos, dentre os quais se destaca a água, sendo residuária na indústria de exploração do petróleo e gás (MOTTA et al., 2013). Uma água conata que fica aprisionada nas fendas rochosas, juntamente com os combustíveis fósseis (AMINI et al., 2012), é extraída em quantidade e passa pelo processo industrial de obtenção do óleo, onde passa a ser denominada de água produzida (AP). Esta representa a maior porção do líquido extraído das rochas, podendo superar 90% do volume de óleo obtido na indústria do petróleo (MELO et al., 2010), o que representa aproximadamente 661.000 m³ de água, apenas no estado do Ceará. Em 2014 a produção nacional de petróleo atingiu 851.866.556 barris equivalente de petróleo, e nos campos localizados em terra obteve-se 7,5 % desse volume (ANP, 2015), gerando-se nestes o equivalente a 180 milhões de barris de água. Tal volume de água produzida não pode ser desprezado, ainda mais quando se trata de regiões semiáridas e com escassez de água. Após seu tratamento em plantas industriais, essa água residuária poderia servir para irrigar plantas destinadas a produção de biocombustíveis.

De outro modo, AP contém diversos constituintes químicos, inclusive hidrocarbonetos e metais tóxicos (SCHLUTER, 2007; MELO et al., 2010), devendo portanto passar por processo de tratamento industrial. Na legislação brasileira, a Resolução CNRH nº 54 abrange a modalidade de reuso de água não potável para produção agrícola, enquanto que a Resolução CONAMA nº 396 (BRASIL, 2008) dispõe sobre o descarte de água produzida em reservatórios subterrâneos de água. O tratamento de AP tem sido sugerido (CHAKRABARTY; GHOSHAL; PURKAIT, 2008; MOTTA et al., 2013; MIRANDA; CRISOSTOMO; WEBER, 2014), e a passagem em filtros de areia, seguido de nanofiltragem e tratamento por osmose reversa, segundo Melo et al. (2010), pode ser alternativa para uso de AP na irrigação.

Chatzakis et al. (2011) avaliaram os impactos da água residuária, obtida da unidade de tratamento biológico da cidade de Iraklion, Grécia, sobre as propriedades do solo e, produção de sementes de mamona (*Ricinus communis* L.) e girassol (*Helianthus annuus* L.), durante três anos. O estudo foi realizado em um campo experimental na condição de semiárido. Os autores observaram apenas efeitos mínimos sobre as propriedades do solo e concluíram que a água residuária municipal pode ser considerada uma importante fonte de água para irrigação e de nutrientes para cultivos de culturas bioenergéticas com impactos adversos menores nas propriedades do solo e produção de

sementes. Santos Júnior et al. (2011) também afirmaram que águas residuárias podem ser utilizadas na irrigação e produção agrícola de girassol.

O uso de AP tratada na irrigação de culturas oleaginosas destinadas à produção de biocombustível seria interessante para regiões semiáridas e próximas dos campos de exploração de petróleo em terra firme. Para produção de biocombustível, espécies vegetais diferentes têm sido testadas incluindo as culturas de mamona (*Ricinus communis* L.), amplamente disseminada no Nordeste brasileiro, e de girassol (*Helianthus annuus* L.), cultivado noutras regiões agrícolas. Mas, de acordo com Santos Júnior et al. (2014), o girassol se adapta às distintas condições edafoclimáticas, com produtividade pouco influenciada pela latitude, altitude e fotoperíodo, o que favorece seu estabelecimento e cultivo em regiões semiáridas.

A aplicação da água produzida tratada para fins de irrigação necessita de estudos sobre os possíveis efeitos desse efluente sobre as características do solo, ambiente habitado por diferentes organismos que desempenham funções essenciais à qualidade do solo. Alterações que podem ser detectadas através de atributos químicos, físicos e biológicos do solo. Para a manutenção da qualidade biológica do solo tem-se recomendado o monitoramento e avaliação de carbono orgânico total do solo (COT) (MIELNICZUK, 1999; SHARMA et al., 2005), respiração edáfica (SANTOS et al., 2011; D'ANDREA et al., 2002), populações de comunidades de micro-organismos (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007) e fungos micorrízicos arbusculares (FMA) do solo (JEFFRIES; BAREA, 2001; CORKIDI et al., 2002) como atributos sensíveis às modificações promovidas e indicadores de qualidade e saúde do solo.

Poucos são os estudos que envolvem a qualidade da água de irrigação e a atividade microbiana do solo. Em trabalho de campo cultivado com plantas de mamona e girassol irrigadas com água produzida, Lopes et al. (2014) constataram no período de um ciclo das culturas, impacto negativo de AP sobre a proliferação de micro-organismos e a atividade da desidrogenase do solo. Entretanto, tal efeito precisaria ser avaliado no médio e longo prazo para auxiliar no manejo de AP em culturas oleaginosas do semiárido.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de água produzida sobre atributos biológicos na rizosfera de cultivares de girassol (*Helianthus annuus* L) BRS 321 durante três ciclos de produção e de mamona (*Ricinus communis* L) BRS Energia durante dois ciclos de produção, e propor indicadores de qualidade do solo para culturas bioenergéticas no semiárido.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 DEFINIÇÃO E FORMAÇÃO DA ÁGUA PRODUZIDA

A água produzida é o subproduto obtido a partir da produção do petróleo e gás (MOTTA et al., 2013), sendo que a mesma fica armazenada com esses combustíveis sob as rochas subterrâneas de bacias petrolíferas (AMINI et al., 2012), até a separação dos mesmos na indústria, onde passa a denominação de ‘água produzida’ (AP). O rendimento dessa água está relacionado com as etapas de produção do óleo, diminuição da pressão na camada de óleo, geração de cones de água que atinge o poço e coprodução da água com o petróleo (SCHLUTER, 2007). A água produzida é gerada durante o processo de extração, de transporte e de refino do petróleo (SILVA NETO et al., 2005).

2.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE PETRÓLEO

Em composição AP geralmente é salina e contém compostos orgânicos, como hidrocarbonetos dissolvidos e fenóis, além de partículas de óleo em suspensão e sólidos suspensos (areia, argila, lodo, entre outros), bem como ácidos (FIGUEREDO, 2010) e metais pesados (cádmio, zinco, níquel, chumbo, entre outros (MIRANDA; CRISOSTOMO; WEBER, 2014). Existe ainda a possibilidade de encontrar defensivos na composição química da água produzida de petróleo (SCHLUTER, 2007; MELO et al., 2010).

Além da sua constituição mineral e orgânica, AP recebe no processo de tratamento alguns compostos comerciais, como o biocida gluteraldeído, o ácido fosfônico como antiincrustante, Dettol como desmulsificante e o Desmulgan como polieletrólito. A adição desses produtos visa à melhoria do processo industrial de filtração e purificação da água residuária (SCHLUTER, 2007), e não se pode descartar o impacto desses aditivos que em parte permanecem na água residuária sobre os atributos biológicos do solo e de qualidade do solo e saúde das plantas. Estudos nessa linha devem ser investigados de modo a atender às exigências legais para disposição final de efluentes na agricultura.

2.3 TRATAMENTO E PRÁTICAS DE REUSO DE ÁGUA PRODUZIDA

As formas de reuso da água produzida, obtida da produção de petróleo, incluem a reinjeção nos poços, depois de tratado, para manter a pressão e facilitar o fluxo de óleo até a

superfície, beneficiando o processo de extração e rendimento de óleo. A literatura reporta ainda o reuso de água produzida tratada na perfuração de poços de petróleo (PEACOCK, 2002) e na geração de vapor (JACINTO JUNIOR et al., 2008). Ainda, de acordo com Melo et al. (2010), o reuso de água produzida tratada pode ser uma alternativa a irrigação. Na Índia, Hayat et al. (2002) relataram o uso de a água residuária oriunda da refinaria de petróleo Mathura, depois de tratada por processos físicos, químicos e biológicos, sendo disponibilizada aos agricultores daquela localidade para fins de irrigação.

Devido às exigências da legislação ambiental, tipos de tratamento de água residuária têm sido testados, a fim de cumprir o previsto na lei, prezando pelos corpos hídricos e de descarte e o solo. No Brasil, o Art. 3º da Resolução CNRH nº 54/2005 define o reuso direto não potável de água e abrange a modalidade de reuso para produção agrícola. A Resolução CONAMA nº 430/2011 dispõe sobre condições e padrões de descarte de efluentes. A Resolução CONAMA nº 396 (BRASIL, 2008) abrange o descarte de água produzida em reservatórios subterrâneos de água.

Diferentes tipos de tratamento de água residuária de petróleo têm sido relatados na literatura, processo Fenton (FLOTRON et al., 2005), processo combinado de floculação-flotação (ROSA, 2003), filtração simples e resina de troca catiônica (QIAN et al., 2012) nanofiltração e filtração por osmose reversa (ALZHRANI et al., 2013), dentre outros.

Estudos anteriormente realizados por Melo et al. (2010) com água produzida proveniente dos poços de petróleo da fazenda Belém - CE permitiram concluir que o tratamento de AP por filtração com membrana de nanofiltração e osmose reversa é eficiente na obtenção de água residuária para fins de reuso. Em estudo sobre a caracterização e amostragem da água produzida, obtida dos poços de petróleo da Bacia Potiguar da Fazenda Belém, Schluter (2007) determinou a composição química da água produzida tratada por duas técnicas de filtração por membrana, a nanofiltração e osmose reversa e estimou a eficiência desses tratamentos na remoção de alguns constituintes químicos, presentes na composição da água produzida. A Tabela 1 mostra os valores médios, expressos em percentagem de redução, de alguns parâmetros analisados.

Tabela 1 - Resultados das análises de alguns parâmetros da água produzida, obtida do processo de produção do petróleo

Parâmetros	Osmose reversa (% de redução)	Nanofiltração (% de redução)
	Valores médios	Valores médios
Alcalinidade	86	86
Cálcio	85	79
Cloreto	97	97
Ferro	81	87
Lítio	97	95
Magnésio	53	61
Potássio	91	93
Sódio	99	91
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	96	95

Fonte: Adaptado de Schluter (2007)

Melo et al. (2010) determinaram a composição química da água produzida, obtida do campo petrolífero da Petrobras, próximo a Fazenda Belém, antes e após o tratamento por osmose reversa e nanofiltração, em escala piloto, e os resultados mostraram que a água produzida, após o tratamento de osmose reversa podia servir para irrigação de culturas agronômicas, mas em estudo de campo cultivado com mamona e girassol irrigado com água tratada por osmose reversa Lopes et al. (2014) constataram efeito negativo no curto prazo sobre atributos microbiológicos do solo.

2.4 CULTURAS BIOENERGÉTICAS: GIRASSOL E MAMONA

Culturas bioenergéticas são plantas oleaginosas com elevado teor de produção de óleo para fins de fabricação do biodiesel. A produção de biodiesel, obtido do óleo vegetal extraído de oleaginosas, configura-se como importante alternativa para a geração de energia renovável (SIMON, 2009). O girassol e a mamona são indicados, pelo Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (CADERNOS NAE, 2004), como culturas potências para a produção de biodiesel.

A espécie *Helianthus annuus* L., comumente conhecida como girassol, faz parte da família Asteraceae (LEITE; BRIGHENTI; CASTRO, 2005). O girassol BRS 321 é uma cultivar híbrida desenvolvida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Com adaptabilidade ao

clima e solo brasileiros, com maior tolerância ao frio, ao calor e à seca, quando comparada com as demais espécies cultivadas no Brasil. Essa oleaginosa possui as principais características: ciclo precoce e sementes com teor de óleo que variam entre 40% a 44% (EMBRAPA, 2015). O girassol é a quarta oleaginosa que mais produz óleo no mundo (CASTRO, 2007).

A mamona (*Ricinus communis* L.) pertence à família Euphorbiaceae, é nativa da Ásia meridional e sua maior diversidade ocorre em regiões tropicais e subtropicais (SAVY FILHO, 2005). A mamona BRS Energia é um híbrido com características diferenciadas como ciclo precoce e capacidade de adaptação em condições de seca. Segundo Vieira et al. (1998), as sementes de mamona apresentam um teor de óleo entre 40% e 60%. De acordo com Simon (2009) é uma planta rustica, disseminada em muitas regiões no mundo, e que tem sido cultivada principalmente no Nordeste brasileiro.

2.5 INDICADORES MICROBIOLÓGICOS DE QUALIDADE DO SOLO

Em regiões semiáridas e no Brasil ainda é reduzido o número de trabalhos voltados à avaliação do impacto da água produzida e tratada sobre a qualidade do solo. Em estudo sobre atividade da microbiota do solo sob cultivo de plantas oleaginosas (mamona e girassol) irrigadas com água produzida, comparada com área de mata nativa, Lopes (2013) observou pouca variação do número de micro-organismos (Log de UFC/g de solo) entre áreas de vegetação natural e experimental, e teores elevados de carbono orgânico total, carbono da biomassa microbiana e respiração basal da área de mata, assim como diminuição nos valores de qCO_2 e atividade da desidrogenase.

A saúde do solo implica na realização das atividades fundamentais ao desenvolvimento dos organismos que fazem parte do solo, considerando as condições ambientais locais. A qualidade do solo pode ser definida como a capacidade de funcionamento do solo, de acordo com as condições ambientais do solo, manejado ou natural, para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental, promover a saúde das plantas e dos animais (DORAN; PARKIN, 1994), regular o fluxo de água e solutos, degradar, imobilizar e modificar a toxicidade de compostos orgânicos e inorgânicos e atuar na ciclagem de nutrientes e outros elementos (SEYBOLD et al., 1998).

O solo das regiões semiáridas, em geral, é pobre em matéria orgânica, o que exige a adição de resíduos orgânicos para suprir essa deficiência e não comprometer o desenvolvimento das culturas. Em geral, os solos de regiões semiáridas apresentam pH básico

(MOREIRA; SIQUEIRA, 2006) e, o solo da região Nordeste, por exemplo, possui teor elevado de sais, o que pode comprometer a absorção de água pelas raízes e provocar toxicidade das plantas por íons e desequilíbrio nutritivo do solo (TORRES et. al., 2004).

De modo geral, as modificações que ocorrem no solo podem ser detectadas pelos atributos de qualidade do solo. Saviozzi et al. (2002) e Ros et al. (2003) afirmaram que os parâmetros microbiológicas e bioquímicos do solo tem sido considerados sensíveis indicadores às alterações nos solos, podendo assim serem utilizados para prever as tendências em longo prazo na qualidade de solo.

2.5.1 Respiração edáfica (Re)

A respiração edáfica (Re) resulta do metabolismo microbiano do solo. O somatório das funções metabólicas que resultam na produção de gás carbônico define a Re. Fatores como temperatura (CATTELAN; VIDOR, 1990; D'ANDREA et al., 2002; RIGOBELLO; NAHAS, 2004), umidade (CATTELAN; VIDOR, 1990; BROOKES, 1995; ARAUJO; MONTEIRO, 2006; GEISSELER; HORWATH; SCOW, 2011) e manejo (D'ANDREA et al., 2002; PASCUAL et al., 2007) influenciam na respiração edáfica do solo. A aplicação de adubo orgânico pode influenciar a respiração edáfica do solo, por meio do aumento do teor de matéria orgânica do solo, o que reflete na maior atividade de micro-organismos (D'ANDRÉA et al., 2006).

De modo geral, a respiração do solo expressa a atividade biológica do ambiente e pode ser eficiente para detectar possíveis alterações no solo (SANTOS et al., 2011; D'ANDREA et al., 2002), podendo ser utilizado como indicador da saúde do solo (MERCANTE et al., 2008).

2.5.2 Carbono orgânico total (COT)

A maior parte do carbono orgânico total (COT) encontra-se na matéria orgânica (SANTOS et al., 2008). A COT é considerada boa indicadora de qualidade do solo (MIELNICZUK, 1999; SHARMA et al., 2005), uma vez que consegue responder ao manejo do solo (DALAL; MAYER, 1986). As alterações no carbono orgânico do solo são fundamentais na determinação da qualidade do solo (ZHAO et al., 2009). Silva et al. (2012) apontaram COT como indicador sensível às alterações provocadas pelo manejo do solo.

2.5.3 Densidade populacional de bactérias cultiváveis (Bact) e fungos filamentosos cultiváveis (Fung)

Os fungos e as bactérias fazem parte da biomassa microbiana do solo (GAMA-RODRIGUES, 1999) e possuem sua atividade fortemente influenciada pela disponibilidade de água (GEISSELER et al., 2011). Os micro-organismos encontram-se em contato direto com as partículas do solo, o que lhes confere elevada sensibilidade às alterações no ecossistema, sendo considerados eficientes indicadores para refletir as mudanças em solos contaminados por petróleo (ANDREONI et al., 2004).

A densidade populacional de fungos filamentosos e bactérias cultiváveis expressam, em parte, a atividade microbiana do solo (LOPES et al., 2014), sendo a maioria dos micro-organismos não cultiváveis. O número de populações de micro-organismos, associado a outras análises como atividade da enzima urease e pode ser utilizado para determinar a resposta do solo à contaminação por petróleo bruto, o qual possui muitos constituintes tóxicos em concentração relativamente alta, afeta física, química e biologicamente os micro-organismos do solo (GUO et al., 2012). Os micro-organismos do solo conseguem responder rapidamente as modificações, causadas pela água residuária, nas propriedades do solo (CHEN et al., 2008).

2.6 AVALIAÇÃO DA INTENSIDADE DE COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA ARBUSCULAR (CM)

A formação de estruturas como hifas, vesículas e arbúsculos, no córtex da raiz, caracteriza a associação simbiótica por fungos micorrízicos arbusculares (FMA). As hifas extra-radulares atuam como extensão do sistema radicular e propiciam a maior absorção de nutrientes e água pelas plantas, beneficiando seu desenvolvimento e a produção (MACHINESKI; BALOTA; SOUZA, 2011).

Os fungos micorrízicos arbusculares (MA) se destacam por colonizar as plantas cultivadas (CAVALCANTI; GOTO; MAIA, 2009) por meio de associações simbióticas com as raízes e auxiliam, principalmente, na absorção de nutrientes de baixa mobilidade no solo (MIRANDA; CRISOSTOMO; WEBER, 2014). A umidade do solo influencia tais associações (MEHROTA, 2005; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Autores como Jeffries; Barea (2001) e Corkidi et al. (2002) afirmaram que a estrutura das comunidades de FMA é um importante indicador de qualidade do solo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA ANALISADA

O estudo sobre atributos biológicos do solo e da rizosfera de plantas de mamona cv. BRS Energia e girassol cv. BRS 321 em áreas submetidas à irrigação e sem irrigação foi conduzido na Fazenda Belém, da Petrobrás (Figura 1). As avaliações abrangeram dois e três ciclos das culturas, respectivamente, ocorrendo em 2011 e 2013.

Figura 1 - Imagem aérea da área experimental na Fazenda Belém obtida por satélite.



Fonte: Google Earth (2015)

Ambas as oleaginosas foram submetidas a irrigação com água produzida filtrada (APF), água produzida tratada por osmose reversa (APO) e água do subsolo, captada do Aquífero Açu (ACA) na profundidade de 250 m em poços da fazenda Belém, além do tratamento de sequeiro (SEQ) (sem irrigação), sendo que todos tinham três repetições cada (Figura 2). Os controles são ACA e SEQ.

Figura 2 - Layout: Culturas X Tipos de água e manejo de sequeiro

							GO
M	GO	GO	M	M	GO		M
GO	M	M				M	
		GO		GO	M		GO
M						M	GO
	GO	M	GO	GO	M		

ACA

APO

APF

SEQ

GO: Girassol oleífero (girassol BRS 321)
M: mamona BRS Energia

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2 MANEJO DO SOLO, COLETA DE SOLO E DE RAÍZES

O manejo inicial do solo envolveu a limpeza da área, gradagem, marcação de fileiras, abertura de sulcos para incorporação de adubo orgânico e mineral. Neste e nos ciclos seguintes procurou-se adotar práticas conservacionistas, com o mínimo de perturbação do solo na ocasião da preparação e incorporação de adubo orgânico no solo.

A adubação do primeiro ciclo da mamona BRS Energia consistiu na adição de 75 t ha⁻¹ de adubo orgânico (Polefétil), 20 kg ha⁻¹ de N (Ureia), 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato simples) e 25 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio). No segundo ciclo, apenas 1/3 da quantidade de adubo foi utilizado, sendo que as quantidades dos demais fertilizantes foram mantidas. As plantas de mamona receberam em cobertura, 66 kg ha⁻¹ de ureia, durante os dois ciclos de produção (MIRANDA; CRISOSTOMO; WEBER, 2014).

A adubação inicial para o girassol BRS 321 consistiu na aplicação de 75 t ha⁻¹ de adubo orgânico (Polefétil), 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato simples) e 40 kg ha⁻¹ de K₂O

(cloreto de potássio). Nos demais ciclos de produção, somente 25 t ha⁻¹ da dose de adubo foi aplicado, enquanto as dosagens dos outros adubos minerais foram similares às que foram adicionadas no primeiro ciclo de produção de girassol. As plantas de girassol receberam em cobertura, 110 kg ha⁻¹ de ureia durante os três ciclos de cultivo (MIRANDA; CRISOSTOMO; WEBER, 2014).

As amostras de solo superficial (até 10 cm de profundidade) foram coletadas sempre em pontos aleatórios na parcela, ao longo das fileiras de plantio e próximo às plantas de mamona e girassol, quando existentes. Essas amostras eram compostas de quinze subamostras coletadas na parcela e, seguida da sua coleta, foram passadas em peneira de 2 mm de abertura de malhas e mantidas em geladeiras no laboratório de solos da Embrapa Agroindústria Tropical, em Fortaleza, para posterior análise.

As épocas de coleta de solo corresponderam as fases pré-plantio e pré-colheita do primeiro ciclo, pré-colheita do segundo ciclo e pré-colheita do terceiro ciclo de girassol e as fases pré-plantio e pré-colheita (ciclo 1) e pré-colheita (ciclo 2) para mamona. Em floração plena as raízes das duas oleaginosas foram amostradas para se avaliar a intensidade de colonização por fungos MA (CM).

O aspecto visual das plantas de girassol BRS 321 pode ser observado na Figura 3 e da mamona BRS Energia na Figura 4.

Figura 3 - (A) Parcela da área experimental cultivada com girassol BRS 321 e (B) detalhe de girassol BRS 321.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4 - (C) Parcela da área experimental cultivada com mamona BRS Energia e (D) detalhe de mamona BRS Energia.

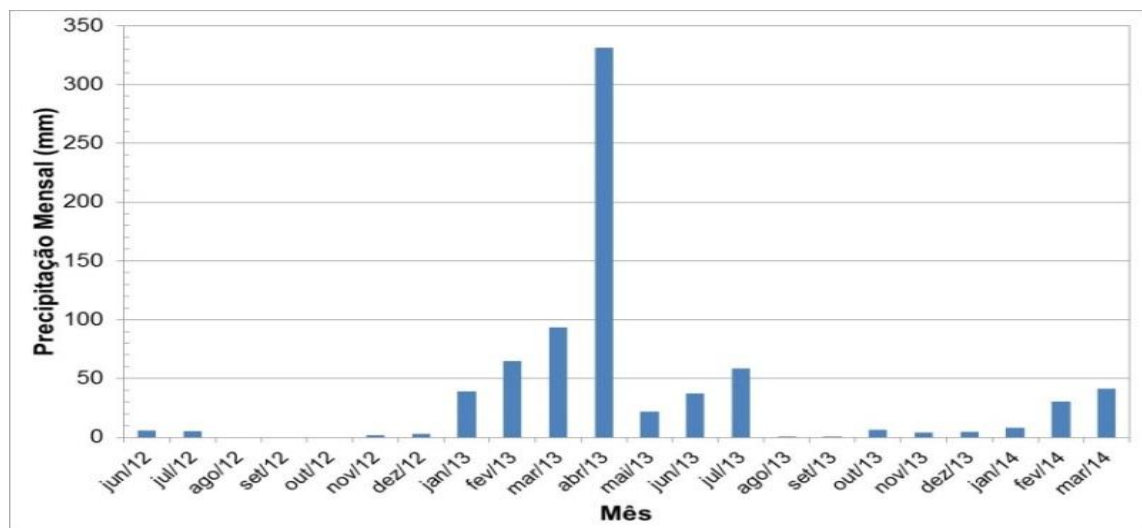


Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3 PRECIPITAÇÃO MENSAL

A precipitação mensal foi analisada ao longo do experimento, nos três ciclos de produção de girassol oleífero BRS 321 e nos dois ciclos de produção de mamona BRS Energia (Figura 5). O primeiro ciclo de produção dos cultivares, girassol e mamona, corresponde à época seca, enquanto o segundo ciclo foi realizado em época de chuva. O terceiro ciclo de cultivo de girassol se refere à época seca (dados fornecidos pelo pesquisador L. A. Crisóstomo da Embrapa Agroindústria Tropical).

Figura 5 - Precipitação mensal observada na área de estudo durante a fase de execução dos experimentos na Fazenda Belém, em Aracati CE.

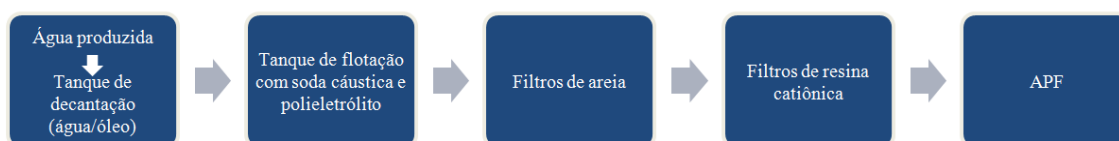


Fonte: Elaborado pelo autor

3.4 TRATAMENTO DA ÁGUA RESIDUÁRIA E DISTRIBUIÇÃO DE APF E APO

A água residuária, obtida da extração do petróleo, foi tratada na Estação de Tratamento de Efluentes-ETE-Fazenda Belém. O processo de obtenção de APF incluiu as fases de decantação, flotação com adição de soda caustica e polieletrólito, filtração através de filtros de areia e filtros com resina catiônica. Primeiramente, água produzida, passou por tanques de decantação, para separação da água e do óleo em fases distintas devido à diferença de densidade. Por meio de tubulações, a água foi transferida para um tanque de flotação, contendo soda caustica e polieletrólito, responsáveis pela retirada de demais resíduos de óleo. Após essa etapa, a água produzida foi direcionada a três filtros de areia, essenciais na remoção de partículas orgânicas maiores e, logo depois a filtros de resina catiônica, para remoção de resíduos de soda caustica, originando a APF (Figura 6).

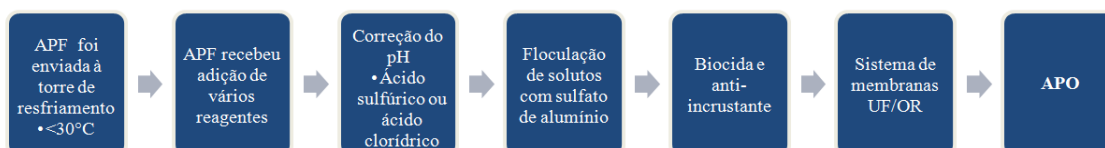
Figura 6 - Esquema das etapas de produção de APF



Fonte: Adaptado de Lopes (2013)

Uma fração de APF foi encaminhada à torre de resfriamento e mantida a temperatura menor que 30°C. Depois disso, APF recebeu adição de vários reagentes: ácido sulfúrico ou clorídrico para correção do pH; sulfato de alumínio para floculação de solutos; biocida e anti-incrustante e, finalmente entrou em um sistema de membranas de ultrafiltração, seguido por osmose reversa (Figura 7). Desse modo, o sistema de produção de APO envolveu as etapas de resfriamento, correção de pH, floculação, adição de biocida e anti-incrustante, ultrafiltração e osmose reversa.

Figura 7 - Esquema das etapas de produção de APO



Fonte: Adaptado de Lopes (2013)

APF e APO permaneceram em tanques de armazenamento em uma área próxima ao campo até o bombeamento, através de tubulações separadas (Figura 8), para irrigação das culturas. ACA também foi bombeada à área experimental por meio de tubulações separadas (Figura 8) e, quanto à irrigação das plantas, aplicou-se a técnica de gotejamento.

Figura 8 - Diferentes tubulações para distribuição da água produzida filtrada (APF), água produzida tratada por osmose reversa (APO) e água captada do aquífero (ACA).



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.5 ANÁLISE QUÍMICA DOS TIPOS DE ÁGUA (APF, APO E ACA)

As águas de irrigação foram periodicamente analisadas pelos constituintes químicos, e APF apresentou teores mais altos dos íons Na^+ e Cl^- ($17,2 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$) e HCO_3^- ($3,51 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$) em comparação com APO e ACA, nas quais se detectou teores de Na^+ variando de 4,5 a $10,9 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ e de HCO_3^- variando de 1,4 a $2,8 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ (dados fornecidos pelo pesquisador L. A. Crisóstomo da Embrapa Agroindústria Tropical). Esse mesmo pesquisador ainda relatou que as águas utilizadas continham baixos teores de metais (Ag, As, B, Cd, Co, Cr^{+3} , Hg, Ni, Pb e Zn), sendo inferiores aos limites estabelecidos nas resoluções do CONAMA 357 e 420 (dados não divulgados).

3.6 INDICADORES BIOLÓGICOS DO SOLO

As amostras compostas de solo foram analisadas quanto à respiração edáfica, ao carbono orgânico total, a densidade populacional de bactérias cultiváveis e de fungos filamentosos cultiváveis. Por sua vez, as amostras de raízes foram avaliadas pela intensidade de colonização micorrízica arbuscular.

3.6.1 Respiração edáfica (Re)

Adotou-se o método descrito por Jenkinson e Powlson (1976), que consiste na determinação da quantidade de carbono respirado pela microbiota do solo por um período de 240 horas, em solução de hidróxido de sódio (NaOH), titulado com ácido clorídrico (HCl). Inicialmente ajustou-se a capacidade de campo do solo para 65%, em seguida pesou-se aproximadamente 50 g de solo úmido em um Becker, e o mesmo foi acondicionado em frasco hermético com tampa. Juntamente com o solo, foi colocado um Becker com solução de NaOH 0,5 M. O frasco foi vedado com filme PVC e tampado. Após 10 dias de incubação, procedeu-se a titulação da solução de NaOH com HCl.

3.6.2 Carbono Orgânico Total (COT)

Utilizou-se o método da oxidação úmida, baseado na oxidação do carbono de solo, por dicromato de potássio em meio ácido e aquecido, posteriormente titulado com sulfato ferroso amoniacal (SILVA, 2009). O solo foi previamente macerado, peneirado e transferido para Erlenmeyer, no qual se adicionou dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) (0,167 M) e ácido sulfúrico concentrado. Em seguida, colocou-se um condensador na boca dos frascos e aqueceu-se a 150°C. Após o gotejamento em todos os condensadores, marcou-se 5 minutos e retiraram-se os Erlenmeyers da chapa aquecedora. Depois de frias as amostras foram tituladas com sulfato ferroso amoniacal (0,4 M).

3.6.3 Quantificação das unidades formadoras de colônias (UFC) de bactérias e fungos filamentosos

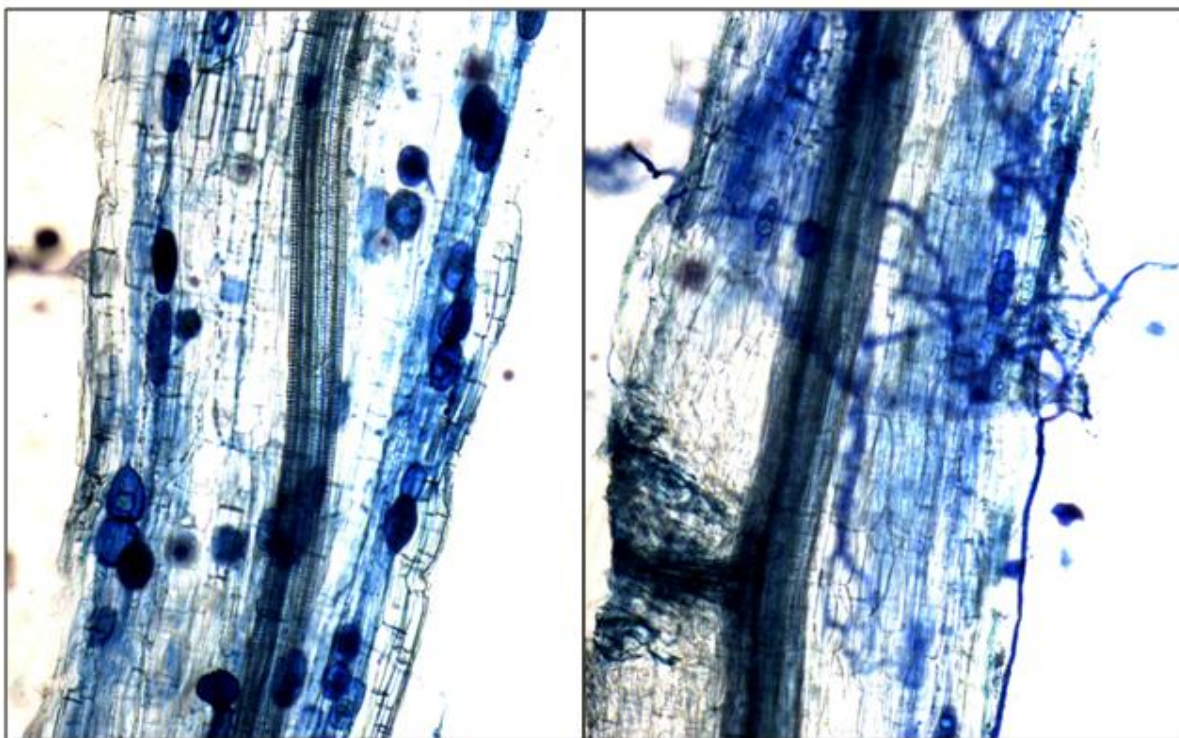
A densidade populacional de bactérias e fungos filamentosos cultiváveis foi determinada pelo número de UFCs de amostras de solo nas diluições 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} e 10^{-5} ,

segundo APHA (2005). O solo foi pesado e transferido para Erlenmeyer, contendo 90 mL de solução salina 0,9% esterilizada. Os frascos foram agitados e mantidos em repouso durante 30 minutos. Em seguida, uma alíquota do sobrenadante foi adicionada a um tubo de ensaio com 9 mL de solução salina, equivalente a diluição 10^{-2} , a partir da qual obteve-se as demais diluições. Depois da diluição seriada, alíquotas de 0,1 mL foram inoculadas em placas de Petri com meios de cultura (Martin para fungos e Agar-nutriente para bactérias). Após 48 horas, estimou-se o número de UFCs de bactérias cultiváveis do solo e, após 72, o número de UFCs de fungos filamentosos cultiváveis do solo.

3.7 AVALIAÇÃO DA COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA ARBUSCULAR

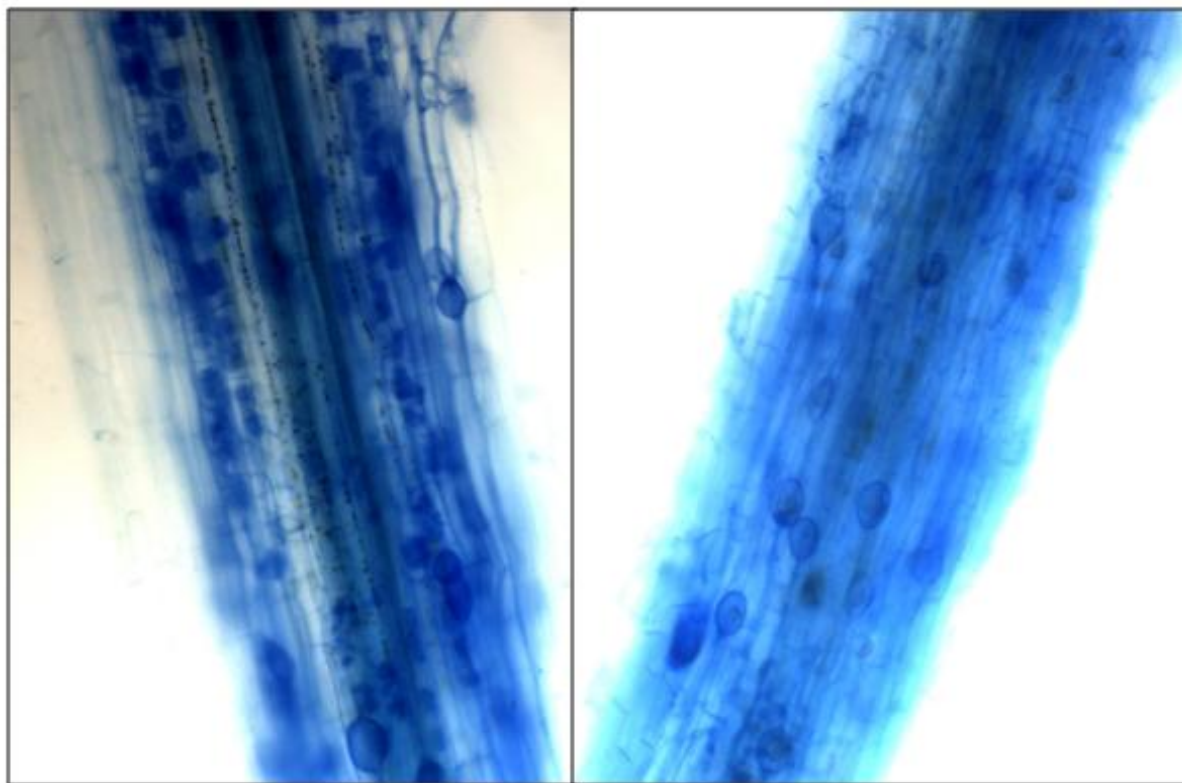
A intensidade de colonização por fungos MA foi determinada através do método de decoloramento e coloração de fragmentos de raízes, de acordo com Philips e Hayman (1970)e, a montagem das lâminas descrita por Giovannetti e Mosse (1980), o qual permite a observação de estruturas características como vesículas e hifas. Inicialmente as raízes mais finas (diâmetro de ≤ 1 mm) foram lavadas em água corrente e conservadas em solução alcoólica até a realização do procedimento experimental. Descartou-se a solução alcoólica, lavaram-se as raízes em água e colocou-se aproximadamente 1 g das mesmas em um tubo de ensaio, no qual foi adicionado solução de KOH a 10%. Em seguida, as raízes foram autoclavadas por 12 minutos, em banho-maria. Depois disso, descartou-se a solução alcalina, lavaram-se as raízes em água e as mesmas foram cobertas com solução de água oxigenada (H_2O_2) 1, 25%. Após 20 minutos, descartou-se a solução de H_2O_2 , as raízes foram novamente lavadas em água e cobertas com solução de HCl 1%. Depois de 4 minutos, retirou-se a solução ácida e acrescentou-se o corante azul de anilina 0,05%. Por fim, as raízes passaram pela última lavagem e montaram-se as lâminas para visualização ao microscópio (100x a 400x). Na Figura 9, observam-se fragmentos colonizados de raiz de girassol BRS 321, vistos ao microscópio (400x). Na Figura 10, observam-se fragmentos colonizados de raiz de mamona BRS Energia, vistos ao microscópio (400x).

Figura 9 - Fragmentos colonizados de raiz de girassol BRS 321, ampliados 400x.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 10 - Fragmentos colonizados de raiz de mamona BRS Energia, ampliados 400x.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram analisados separadamente para cada cultura, no delineamento inteiramente casualizado, com quatro tratamentos principais (APF, APO, ACA e SEQ) e diferentes épocas de amostragem do solo (pré-cultivo e pre-coleita de girassol dos ciclos 1, 2 e 3; pré-cultivo e pré-coleita de mamona dos ciclos 1 e 2), como medidas repetidas no tempo, utilizando o modelo linear de análise de covariância com medidas repetidas no tempo, no procedimento MIXED do programa estatístico SAS – Statistic Analitical System (SAS/STAT, MIXED procedure) (SAS, 2008). O modelo adotado foi $Y_{ijk} = \mu + T_i + t_j + T_{tj} + e_{ij} + e_{ijk}$, onde μ representa a média geral; T_i o efeito do tratamento de irrigação; t_j o efeito do tempo; T_{tj} o efeito da interação dos tratamentos; e_{ij} o erro gerado pelos tratamentos de irrigação; e_{ijk} o erro experimental. Para analisar os efeitos dos tratamentos de irrigação dentro de cada época foram estabelecidos contrastes e estimadas significâncias específicas no teste t. O mesmo teste foi utilizado para comparar médias das variáveis entre as épocas dentro de cada tipo de irrigação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ATRIBUTOS DO SOLO

A respiração edáfica foi influenciada pelos tratamentos de irrigação e as épocas de amostragem do solo nas culturas de girassol e de mamona (Tabela 2). Houve interação dos tratamentos de irrigação e as épocas sobre a respiração do solo cultivado pelas duas oleaginosas.

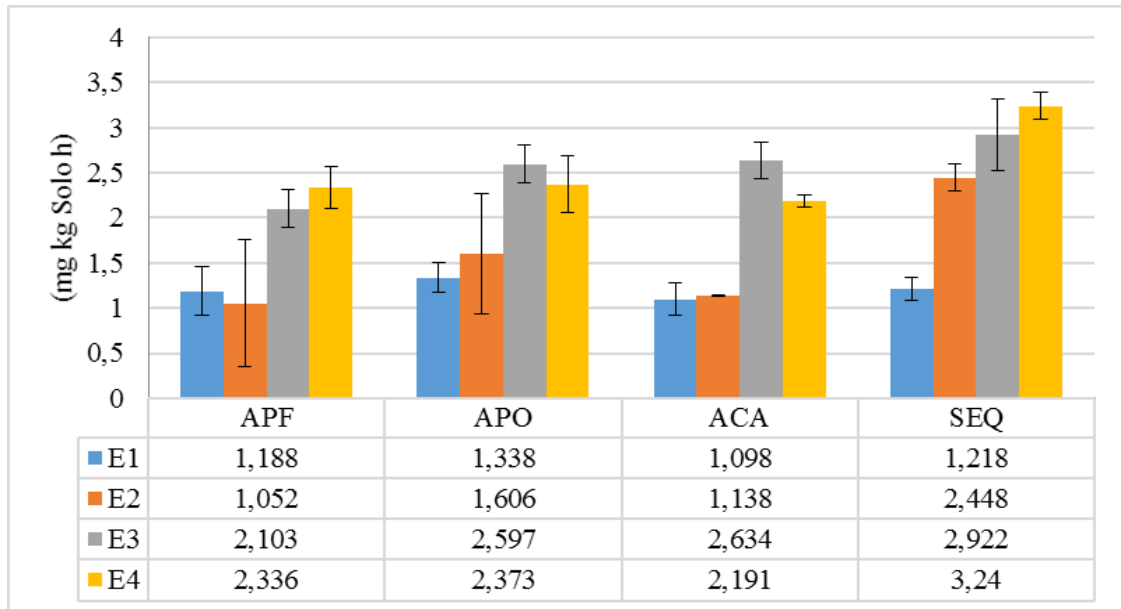
Tabela 2 - Valores de p associados ao teste F para respiração edáfica (Re) do solo rizosférico de plantas de girassol e mamona em razão dos fatores de irrigação (I) e épocas de amostragem do solo (E) na Fazenda Belém, em Aracati (CE).

Fatores	GL	Re		GL	Re	
		F	P		F	p
		Cultura de girassol			Cultura de mamona	
I	3	24,88	0,0002	3	44,99	<0,0001
E	3	75,51	<0,0001	2	9,05	0,0026
I vs. E	9	5,38	0,0005	6	6,78	0,0013

Fonte: Elaborado pelo autor.

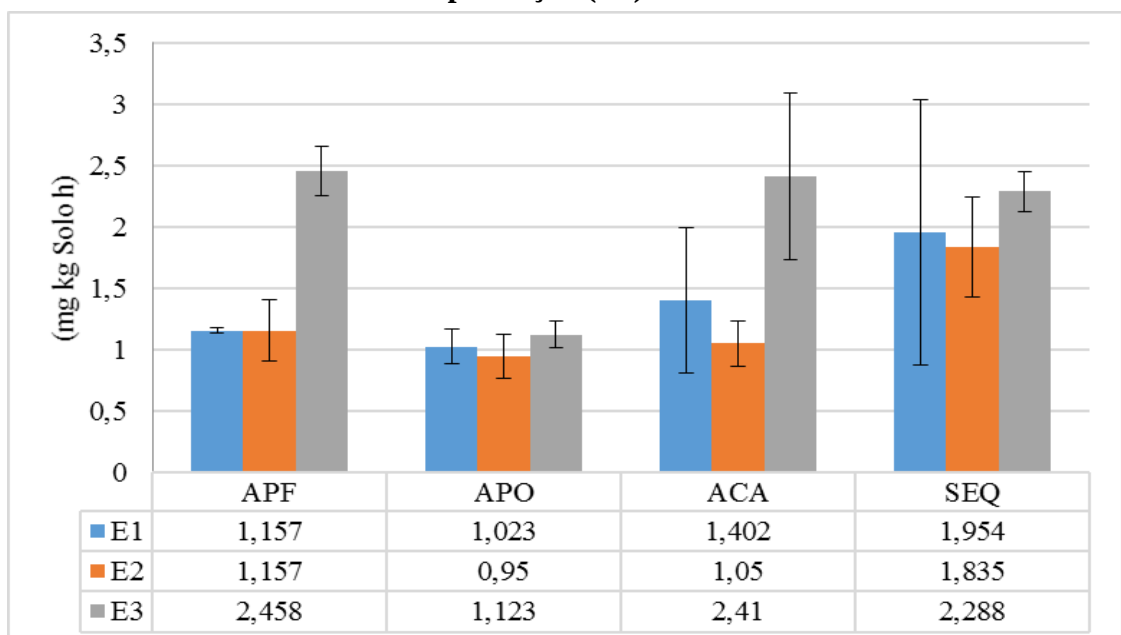
Os valores absolutos de C-CO₂ capturados de amostras do solo (Figuras 11 e 12) tenderam a um aumento gradual ao longo dos ciclos de produção das culturas, detectando-se valores mais altos nas épocas 3 (maio e junho/2013) e 4 (outubro/2013) em solo rizosférico oriundo das plantas de girassol (Figura 11) e na época 3 (julho/2013) na rizosfera de mamoneiras (Figura 12), o que era mesmo esperado após aplicação de fertilizantes orgânico e mineral e o cultivo das oleaginosas. A adição de adubo orgânico e mineral favoreceu a atividade dos micro-organismos, através do aumento do teor de matéria orgânica, resultando na maior taxa de mineralização de carbono e a consequente liberação de CO₂. O teor de matéria orgânica no solo reduz progressivamente à medida que maiores quantidades de CO₂ são liberadas, o que influencia a qualidade do solo (SOUZA et al., 2008). De acordo com Silva et al. (2012), o acúmulo de matéria orgânica gera a atividade biológica e consequentemente maior liberação de CO₂.

Figura 11 - Valores médios de respiração edáfica (Re) na cultura do girassol em razão dos tratamentos de irrigação e às épocas de amostragem do solo. Irrigação com água produzida tratada por filtração simples (APF) e tratada por osmose reversa (APO), água captada do aquífero Açu (ACA) e o controle sem irrigação (SEQ). Épocas de pré-plantio (E1) e pré-colheita do primeiro ciclo (E2), segundo ciclo (E3) e terceiro ciclo de produção (E4).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 12 - Valores médios de respiração edáfica (Re) na cultura da mamona em razão dos tratamentos de irrigação e às épocas de amostragem do solo. Irrigação com água produzida tratada por filtração simples (APF) e tratada por osmose reversa (APO), água captada do aquífero Açu (ACA) e o controle sem irrigação (SEQ). Épocas de pré-plantio (E1) e pré-colheita do primeiro ciclo (E2), segundo ciclo (E3) e terceiro ciclo de produção (E4).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Segundo Moreira; Siqueira (2006), a adubação do solo beneficia o crescimento da comunidade de micro-organismos através do aumento da disponibilidade de nutrientes e/ou fontes de carbono. Nuernberg et al. (1984) ao avaliar o efeito de sucessões de culturas e tipos de adubação na densidade populacional e atividade de micro-organismos do solo, relataram um aumento da população de fungos, bactérias e actinobactérias em solo que recebeu fertilizante mineral ou organomineral em comparação ao solo que não foi adubado. Qiu et al. (2014) investigaram os efeitos do aplicação de fertilizantes sobre as comunidades de bactérias e fungos em campo cultivado com chá (*Camellia sinensis* [L.] Kuntze), no sudeste da China. Os referidos autores observaram altos índices de nutrientes essenciais no solo, incluindo a matéria orgânica (30 %) em função da aplicação de adubo orgânico, e aumento da diversidade da comunidade bacteriana do solo, assim como alterações significativas nas estruturas da comunidade de fungos do solo.

Bonilla et al. (2012) investigaram os efeitos de aditivos orgânicos e o manejo do solo sobre o tamanho da população microbiana em solo cultivado com abacate, no sul da Espanha. Esses autores afirmaram que os compostos comerciais apresentaram os maiores efeitos, especialmente o adubo animal, aumentando o tamanho da população de alguns grupos microbianos e afetando a estrutura da comunidade bacteriana em diferentes camadas do solo. Tais autores observaram que as densidades populacionais de fungos não foram influenciadas pelos tratamentos de solo com resíduos orgânicos em relação aos controles sem aditivo orgânico.

Os dados de respiração edáfica do solo diferem dos resultados obtidos por Delbem et al. (2011) que avaliaram o efeito de fontes de adubação nitrogenada (ureia, sulfato de amônio e Ajifer-L40) na atividade microbiana, através da respiração edáfica do solo, na região noroeste do estado de São Paulo. Tais autores observaram que nenhuma das fontes de nitrogênio afetou C-CO₂ liberado, no entanto, associaram menores perdas de carbono à atividade microbiana, após a aplicação de 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

Na cultura de girassol, os dados de respiração edáfica (Tabela 3) revelaram diferenças significativas entre os tratamentos que receberam as águas produzidas (APF ou APO) e o controle sem irrigação ($p < 0,0001$), nas épocas 2 e 4 (período de pré-colheita do primeiro e terceiro ciclos de produção), sendo que o maior valor ocorreu no solo de sequeiro e que pode ser devida à disponibilidade de carbono orgânico resultante da fertilização orgânica e mineral aliada a condição de umidade do solo, coincidindo estes dois períodos com o final da quadra chuvosa na região (Figura 5, índice pluviométrico mensal). Esses resultados estão de acordo com Geisseler; Horwath; Scow (2011) que investigaram o efeito de diferentes

potenciais de umidade do solo, após a colheita do milho, de um campo cultivado na Califórnia, sobre a respiração edáfica do solo. Esses autores observaram correlação positiva entre a respiração edáfica do solo e a umidade do solo ($p < 0,001$), ou seja, a respiração diminuiu com a redução do potencial de umidade. Comportamento semelhante foi relatado por Araujo et al. (2008) que avaliaram a atividade microbiana através da respiração edáfica do solo (produção C-CO₂) em uma microbacia hidrográfica em degradação ambiental, no semiárido da Paraíba, durante período seco e chuvoso e verificaram que a respiração edáfica aumentou com a disponibilidade de água no solo.

Tabela 3 - Estimativas de diferenças (D) e valores de p associados ao teste t entre médias da respiração edáfica (Re) do solo rizosférico cultivado com girassol oleífero durante o primeiro, segundo e terceiro ciclos de produção, dos tratamentos de irrigação e das épocas.

Tratamentos de irrigação vs. Épocas								
Contrastes	E1		E2		E3		E4	
	D	p	D	P	D	p	D	P
APF ¹ vs. APO	-0,1830	0,5807	-0,5543	0,1028	-0,4940	0,8765	-0,0363	0,9124
APF vs. ACA	0,0903	0,7206	-0,0863	0,7325	-0,5317	0,1314	0,1453	0,5658
APO vs. ACA	0,2733	0,2657	0,4680	0,0628	-0,0376	0,0125	0,1817	0,4562
AP vs. ACA	0,1818	0,3284	0,1908	0,3055	-0,2847	0,9124	0,1635	0,3786
AP vs. SEQ	0,0012	0,9945	-1,1828	<0,0001	-0,4774	0,5658	-0,9397	<0,0001

Contrastes	APF		APO		ACA		SEQ	
	D	p	D	p	D	p	D	P
E1 ² vs. E2	0,1367	0,6670	-0,2347	0,3054	-0,0400	<0,0001	-1,2300	<0,0001
E1 vs. E3	9,09143	0,0076	-1,2253	<0,0001	-1,5363	<0,0001	-1,7040	<0,0001
E1 vs. E4	-1,1480	0,0012	-1,0013	0,0002	-1,0930	<0,0001	-2,0217	<0,0001
E2 vs. E3	-1,0510	0,0027	-0,9907	0,0022	-1,4963	<0,0001	-0,4740	0,0150
E2 vs. E4	-1,2847	0,0004	-0,7667	0,3274	-1,0530	<0,0001	-0,7917	0,0002
E3 vs. E4	-0,2337	0,4636	0,2240	0,7680	0,4433	0,0023	-0,3177	0,0919

¹Irrigação com água produzida (AP) tratada por filtração simples (APF) e tratada por osmose reversa (APO), água captada do aquífero Açu (ACA) e o controle sem irrigação (SEQ).

²E1 (pré-plantio) (ciclo 1); E2 (pré-colheita) (ciclo 1); E3 (pré-colheita) (ciclo 2) e E4 (pré-colheita) (ciclo 3).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Pascual et al. (2007) avaliaram o potencial impacto da umidade do solo em propriedades microbianas, incluindo a respiração edáfica, e atributos bioquímicos do solo na Espanha, em condição de semiárido, submetido a adubação orgânica (lodo de esgoto) ou inorgânica (fertilizante mineral). Tais autores verificaram que o déficit hídrico afetou de modo diferente, respiração edáfica do solo com adubo orgânico e com adubo inorgânico. Em solo com lodo de esgoto, a respiração edáfica diminuiu o que, segundo os mesmos autores pode sugerir que os micro-organismos persistem no solo de forma inativa. Em solo com fertilizante

mineral, a respiração edáfica aumentou e está associado com um aumento no consumo de energia devido à condição de estresse.

Os dados de respiração edáfica obtidos também podem ser justificados pela quantidade de carbono no solo, que em virtude da adubação e acúmulo de matéria orgânica, tornou-se disponível. Cattelan; Vidor (1990) estudando flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo em função de variações ambientais, afirmaram que a disponibilidade de carbono contribui para o aumento do teor respiratório do solo.

Na época 3 (pré-colheita do segundo ciclo), a respiração do solo irrigado com APO foi inferior ao observado no tratamento com ACA e não houve diferenças expressivas para os demais tratamentos de irrigação. Observaram-se ainda diferenças significativas ao longo dos períodos de coleta do solo, dentro dos tratamentos de irrigação. Estes resultados revelam que a respiração edáfica é sensível às mudanças ambientais, podendo ser considerado indicador para definir atributos microbiológicos de qualidade do solo cultivado com girassol.

Na cultura da mamona (Tabela 4), os dados de respiração do solo revelaram na época 3, diferenças significativas entre os tratamentos que receberam APF e APO ($p < 0,0001$) e entre os tratamentos APO e ACA ($p = 0,0010$). Tal como foi observado na cultura de girassol, durante a época 3 (Tabela 3), a menor respiração do solo que recebeu APO pode ser devida à presença do biocida glutaraldeído, produto este adicionado à água durante o processo de tratamento por osmose reversa na planta industrial da Fazenda Belém. O efeito tóxico do glutaraldeído foi investigado por Pereira et al. (2014) em diferentes níveis de organização de organismos aquáticos e esses autores observaram que, em geral, esse biocida mostrou ser moderadamente tóxico para esses organismos, independentemente do nível trófico, com valores de toxicidade que variaram de 3,6 mg.L⁻¹ (24 h EC₅₀ de *T. platyurus*) a 31,3 mg.L⁻¹ (72 h EC₅₀ de *C. vulgaris*).

Ao longo dos ciclos de cultivo da mamoneira (Tabela 4), houve redução significativa na respiração do solo que recebeu APF entre as épocas 1 e 3 e 2 e 3 ($p < 0,0001$), e no solo irrigado com ACA entre as épocas 2 e 3 ($p = 0,0124$), indicando que estes períodos marcados pelas diferentes estações do ano e o tempo de cultivo da mamoneira podem influenciar a respiração edáfica. O efeito das épocas de amostragem sobre a respiração edáfica do solo também foi observado por Diniz et al. (2014) que avaliaram as alterações nos atributos microbiológicos, incluindo a respiração edáfica do solo, em função da variação sazonal em mata de macaubeiras nativas, no Cerrado, durante o verão chuvoso e inverno seco. Esses autores afirmaram que a respiração edáfica mostrou-se sensível à variação sazonal, sendo maior na época de chuva (41,35 mg C-CO₂ kg⁻¹ dia⁻¹).

Tabela 4 - Estimativas de diferenças (D) e valores de *p* associados ao teste t entre médias de Re do solo rizosférico sob cultivo com mamona durante o primeiro e o segundo ciclo de produção, dos tratamentos de irrigação e das épocas.

Contrastes	Tratamentos de irrigação vs. Épocas					
	E1		E2		E3	
	D	P	D	p	D	p
APF ¹ vs. APO	0,1340	0,3439	0,2077	0,1507	1,3630	<0,0001
APF vs. ACA	-0,2450	0,4633	0,1077	0,7454	0,0480	0,8847
APO vs. ACA	-0,3790	0,2540	-0,1000	0,7586	-1,3150	0,0010
AP vs. ACA	-0,3120	0,3379	0,0038	0,9905	-0,6335	0,0634
AP vs. SEQ	-0,7600	0,0800	-0,7824	0,0723	-0,3000	0,4703

Contrastes	APF		APO		ACA		SEQ	
	D	P	D	p	D	p	D	p
E1 ² vs. E2	<0,0001	1,000	0,0736	0,6128	0,3327	0,4729	0,1197	0,8515
E1 vs. E3	-1,3007	<0,0001	-0,0716	0,6401	-1,0077	0,0527	-0,3333	0,6035
E2 vs. E3	-1,3007	<0,0001	-0,1453	0,3485	-1,3603	0,0124	-0,4530	0,4820

¹Irrigação com água produzida (AP) tratada por filtração simples (APF) e tratada por osmose reversa (APO), água captada do aquífero Açú (ACA) e o controle sem irrigação (SEQ).

²E1 (pré-plantio) (ciclo 1); E2 (pré-colheita) (ciclo 1) e E3 (pré-colheita) (ciclo 2).

Fonte: Elaborado pelo autor.

A interação dos fatores de irrigação e as épocas de amostragem também influenciou significativamente o teor de carbono orgânico do solo cultivado com plantas de girassol (Tabela 5), enquanto na cultura da mamona foi detectada a significância no teste F somente para as épocas de coleta do solo. Este último resultado está de acordo com as observações feitas por Lopes et al. (2014), que estudaram efeitos da irrigação com diferentes águas sobre atributos biológicos do solo durante o primeiro ciclo de produção de girassol BRS 321 e mamona BRS Energia. Com relação ao COT do girassol, os dados obtidos no presente estudo diferem de Lopes et al. (2014) que não observaram interação significativa entre os fatores irrigação e épocas de um único ciclo. Essa diferença pode ser justificada pelo período de tempo, uma vez que o estudo desenvolvido pelos referidos autores contemplou apenas um ciclo de cultivo de girassol (sete semanas), e no presente estudo avaliou-se tal efeito durante três ciclos de cultivo (18 meses).

Tabela 5 - Valores de *p* associados ao teste F para carbono orgânico total (COT) do solo rizosférico de plantas de girassol e mamona em razão dos fatores de irrigação (I) e épocas de amostragem do solo (E) na fazenda Belém, em Aracati (CE).

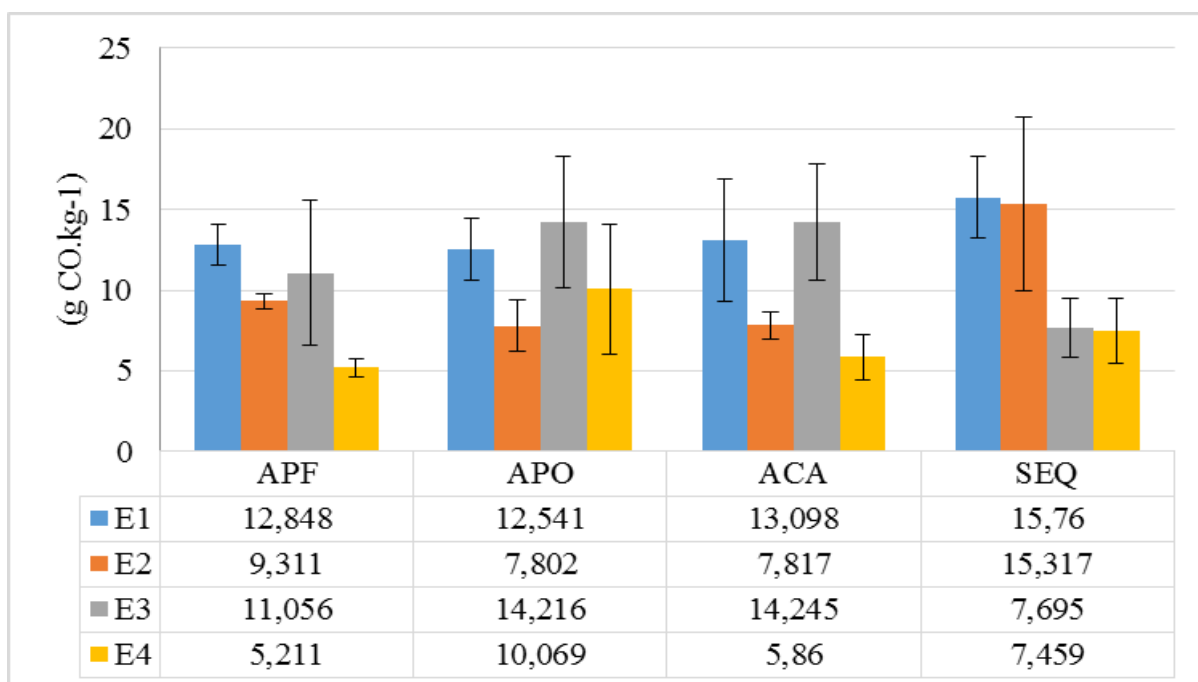
Fatores	GL	COT		GL	COT	
		F	P		F	P
		Cultura de girassol			Cultura de mamona	
I	3	1,01	0,4375	3	1,97	0,1978
E	3	13,86	<0,0001	2	17,19	0,0001
I vs. E	9	3,46	0,0072	6	1,71	0,1872

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os teores de carbono orgânico do solo cultivado com plantas de girassol (Figura 13) e mamona (Figura 14) permitem visualizar certa tendência de redução ao longo dos ciclos de cultivo das oleaginosas e que pode estar relacionada à mineralização da matéria orgânica do solo e a consequente absorção de nutrientes pelas plantas ao longo dos ciclos vegetativos das plantas. Geisseler; Joergensen; Ludwig (2012) estudando o efeito da umidade do solo sobre a atividade enzimática, biomassa e atividade microbiana do solo da região central da Alemanha, afirmaram que, dependendo do teor de umidade do solo, a concentração de carbono orgânico extraível pode ser proporcional à taxa de respiração do solo.

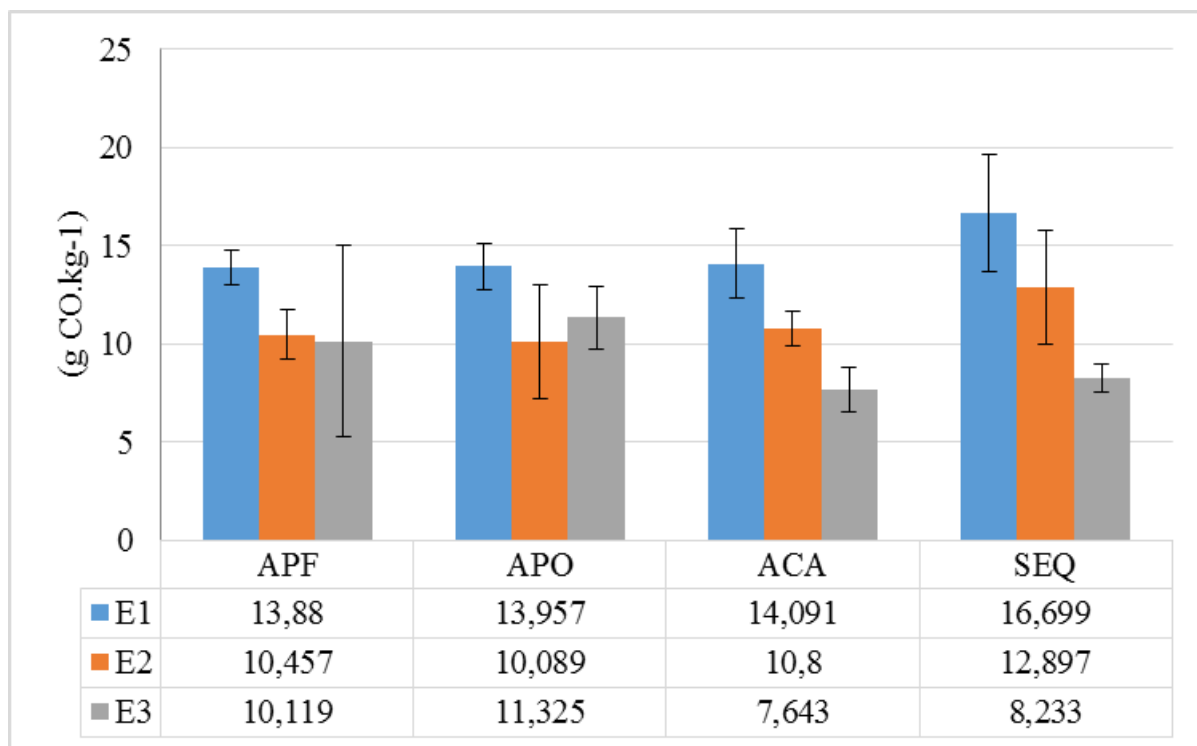
Santos et al. (2011) analisaram a atividade microbiana, em solo salino sódico do Agreste de Pernambuco, na presença e ausência de plantas de *Atriplex nummularia*, através do carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, da respiração basal, e C e N total dos solos. Tais autores observaram correlação positiva entre a quantidade de carbono orgânico total (COT) e a respiração edáfica do solo (carbono mineralizável).

Figura 13 - Valores médios de carbono orgânico total (COT) na cultura do girassol em razão dos tratamentos de irrigação e às épocas de amostragem do solo. Irrigação com água produzida tratada por filtração simples (APF) e tratada por osmose reversa (APO), água captada do aquífero Açu (ACA) e o controle sem irrigação (SEQ). Épocas de pré-plantio (E1) e pré-colheita do primeiro ciclo (E2), segundo ciclo (E3) e terceiro ciclo de produção (E4).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 14 - Valores médios de carbono orgânico total (COT) na cultura da mamona em razão dos tratamentos de irrigação e às épocas de amostragem do solo. Irrigação com água produzida tratada por filtração simples (APF) e tratada por osmose reversa (APO), água captada do aquífero Açu (ACA) e o controle sem irrigação (SEQ). Épocas de pré-plantio (E1) e pré-colheita do primeiro ciclo (E2), segundo ciclo (E3) e terceiro ciclo de produção (E4).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na cultura de girassol (Tabela 6) detectou-se diferenças significativas no teor de carbono orgânico do solo que recebeu ambas as águas produzidas (APO e APF) e do tratamento de sequeiro na época 2 ($p = 0,0027$) e na época 3 ($p = 0,0154$), sendo que as diferenças entre os demais contrastes não foram consideradas. Em solo irrigado com APF constatou-se diferenças no carbono orgânico entre as épocas 1 e 4 ($p = 0,0004$) e irrigado com APO entre as épocas 2 e 3 ($p = 0,0005$) e 3 e 4 ($p = 0,0159$). Diferenças entre épocas de amostragem do solo também foram detectadas em parcelas que receberam ACA e não foram irrigadas, permitindo sugerir que os períodos do ano e os ciclos vegetativos das plantas de girassol afetam o teor de carbono do solo. Diniz et al. (2014) verificaram o efeito da variação sazonal (verão chuvoso e inverno seco) sobre a matéria orgânica (determinada pelo COT) em mata de macaúbeiras, estado de Goiás. Esses autores afirmaram que a matéria orgânica do solo (MOS) variou em função das épocas do ano com quantidade de carbono orgânico total ($56,41 \text{ g C kg}^{-1}$) superior em período chuvoso.

Tabela 6 - Estimativas de diferenças (D) e valores de p associados ao teste t entre médias de COT do solo rizosférico cultivado com girassol oleífero durante o primeiro, segundo e terceiro ciclos de produção, dos tratamentos de irrigação e das épocas.

Tratamentos de irrigação vs. Épocas								
Contrastes	E1		E2		E3		E4	
	D	p	D	p	D	p	D	p
APF ¹ vs. APO	0,3063	0,8934	1,5087	0,5112	-3,1600	0,1753	-4,8577	0,0421
APF vs. ACA	-0,2507	0,9057	1,4940	0,4825	-3,1887	0,1410	-0,6490	0,7593
APO vs. ACA	-0,5570	0,8185	-0,0146	0,9952	-0,0286	0,9906	4,2087	0,0923
AP vs. ACA	-0,4038	0,8375	0,7397	0,7075	-1,6087	0,4170	1,7798	0,3700
AP vs. SEQ	-2,9312	0,1754	-7,0066	0,0027	5,4772	0,0154	-0,4118	0,8461
Contrastes	APF		APO		ACA		SEQ	
	D	P	D	p	D	p	D	p
E1 ² vs. E2	0,5367	0,0661	4,7390	0,0067	5,2813	0,0128	0,4437	0,8723
E1 vs. E3	1,7917	0,3391	-1,6747	0,3049	-1,1463	0,5649	8,0653	0,0069
E1 vs. E4	70,6363	0,0004	2,4723	0,1348	7,2380	0,0012	8,3017	0,0056
E2 vs. E3	-1,7450	0,3516	-6,4237	0,0005	-6,4277	0,0032	7,6217	0,0101
E2 vs. E4	4,0997	0,0352	-2,2667	0,1688	1,9567	0,3291	7,8580	0,0083
E3 vs. E4	5,8447	0,0040	4,1470	0,0159	8,3843	0,0003	0,2363	0,9317

¹Irrigação com água produzida (AP) tratada por filtração simples (APF) e tratada por osmose reversa (APO), água captada do aquífero Açu (ACA) e o controle sem irrigação (SEQ).

²E1 (pré-plantio) (ciclo 1); E2 (pré-colheita) (ciclo 1); E3 (pré-colheita) (ciclo 2) e E4 (pré-colheita) (ciclo 3).

Fonte: Elaborado pelo autor.

O teor de carbono orgânico do solo cultivado com mamoneira (Tabela 7) foi influenciado somente pela época de amostragem, detectando-se diferenças significativas entre as épocas 1 e 2 ($p = 0,0015$) e épocas 1 e 3 ($p < 0,0001$). Os incrementos observados entre essas épocas podem ser atribuídos ao abono do fertilizante orgânico aplicado na ocasião do preparo da área e à produção de resíduos e restos culturais da mamoneira. Esse fato condiz com os dados obtidos por Silva et al. (2012) que avaliaram as propriedades biológicas, incluindo COT, em solos típicos de áreas agrícolas, florestais e de pastagem, no Médio Vale do Paraíba do Sul (RJ), em época úmida e em seca. Os autores verificaram maiores teores de COT em áreas florestais e de pasto, em ambas as épocas e associaram tais resultados à maior quantidade de resíduos produzidos pelas espécies vegetais, bem como à eficiente ciclagem de nutrientes que ocorre nessas áreas.

Tabela 7 - Estimativas de diferenças (D) e valores de *p* associados ao teste t entre médias de COT do solo rizosférico sob cultivo com mamona durante o primeiro e o segundo ciclo de produção, dos tratamentos de irrigação e das épocas.

Contrastes	Épocas		Contrastes	Tratamentos de irrigação	
	D	P		D	P
APF ¹ vs. APO	-0,3051	0,7913			
APF vs. ACA	0,6246	0,6200	E1 ² vs. E2	3,6794	0,0015
APO vs. ACA	0,9297	0,2341	E1 vs. E3	5,4815	<0,0001
AP vs. ACA	0,7771	0,3747	E2 vs. E3	1,8021	0,0782
AP vs. SEQ	-1,2310	0,0750	-	-	-

¹Irrigação com água produzida (AP) tratada por filtração simples (APF) e tratada por osmose reversa (APO), água captada do aquífero Açu (ACA) e o controle sem irrigação (SEQ).

²E1 (pré-plantio) (ciclo 1); E2 (pré-colheita) (ciclo 1) e E3 (pré-colheita) (ciclo 2).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Leite et al. (2003) analisaram os efeitos de sistemas de produção de milho sob adubação orgânica e mineral nos estoques de COT do solo submetido a diferentes sistemas de manejo. Esses autores observaram maiores valores de COT nos sistemas de produção que receberam adição de adubo orgânico, o que pode ser justificado pela maior contribuição de resíduos vegetais retornados ao solo e à aplicação de carbono através do composto orgânico. Kanchikerimath e Singh (2001) relataram um aumento do COT em sistema de cultivo milho (*Zea mays*) - trigo (*Triticum aestivum*) – feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), em região semiárida da Índia, após a aplicação de esterco juntamente com fertilizantes inorgânicos.

As populações de bactérias cultiváveis do solo nas culturas de girassol e mamona foram influenciadas por tratamentos de irrigação e épocas de amostragem do solo (Tabela 8). A interação desses fatores foi considerada para as populações de bactérias cultiváveis do solo cultivado com girassol, sendo na mamona detectado apenas efeitos dos fatores isolados.

Tabela 8 - Valores de *p* associados ao teste F para densidade populacional de bactérias cultiváveis (Bact) do solo de girassol e de mamona em razão dos fatores de irrigação (I) e épocas de amostragem do solo (E) na Fazenda Belém, em Aracati (CE).

Fatores	GL	Bact		GL	Bact	
		F	P		F	p
		Cultura de girassol			Cultura de mamona	
I	3	5,99	0,0193*	3	17,69	0,0007*
E	3	20,60	<0,0001*	2	14,39	0,0003*
I vs. E	9	3,44	0,0223*	6	1,64	0,2010 ^{NS}

Fonte: Elaborado pelo autor.

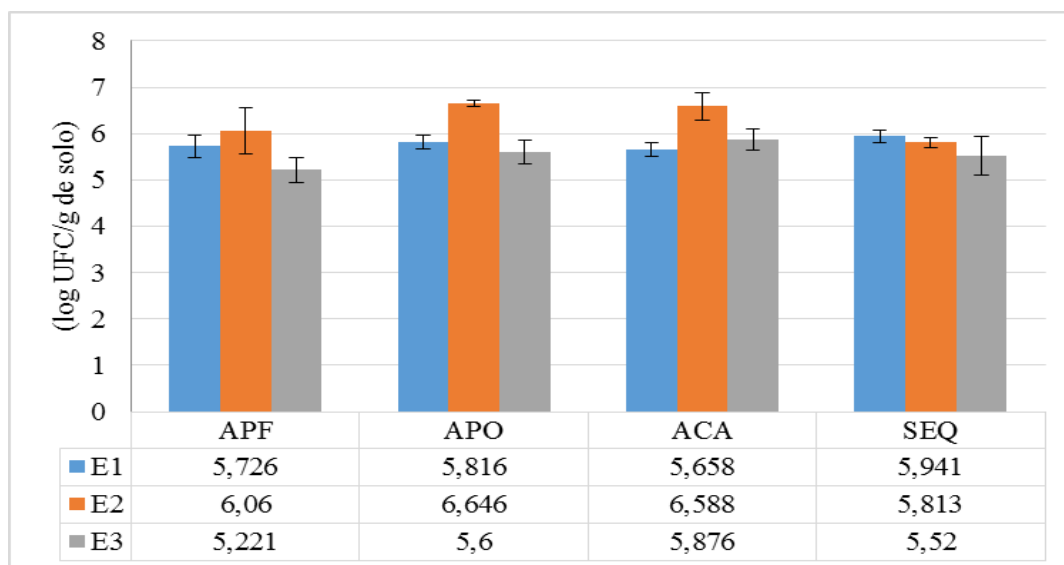
Pelas Figuras 15 e 16 observa-se que a densidade de bactérias cultiváveis no solo de ambas as culturas variou de 10^5 a 10^7 UFC por grama de solo seco, e em geral a população bacteriana foi superior no segundo ciclo de cultivo, coincidindo com o período de maior pluviosidade na região (Figura 5). Lopes et al. (2014) estudando o efeito da água produzida na atividade microbiana, ao longo de um ciclo de produção de girassol e mamona, observaram maior densidade populacional de bactérias cultiváveis no período de pleno crescimento e início de floração das cultivares de girassol BRS 321 e de mamona BRS Energia. As raízes dessas plantas podem liberar exudatos como açúcares simples e aminoácidos, que de acordo com Macková et al. (1999), beneficiam o crescimento de comunidades de micro-organismos. De acordo com Grayston e Jones (1996), a atividade microbiana é mais intensa na área mais próxima às raízes das plantas (rizosfera), uma vez que a liberação de exsudatos e secreções radiculares proporcionam maior quantidade de carbono disponível para os micro-organismos.

A influência positiva das raízes na atividade de micro-organismos foi também relatada por Santos et al. (2011) ao estudarem o efeito da presença e ausência de plantas halófitas sobre a atividade microbiana, em solo salino. Esses autores observaram que a atividade microbiana foi maior no solo mais próximo das raízes, sendo que em solo sem as halófitas, a microbiota do solo foi bastante afetada pela alta concentração de sais.

Em solo cultivado com plantas de girassol (Tabela 9) as populações de bactérias cultiváveis do solo coletado na época 2 (próximo à colheita de capítulos do 1º ciclo) diferiram entre os tratamentos que receberam APF e APO ($p = 0,0218$), APF e ACA ($p = 0,0478$) e AP contra o tratamento de sequeiro ($p = 0,0026$), e na época 3 (próximo à colheita de capítulos do 2º ciclo) entre os tratamentos com APF e ACA ($p = 0,0171$) e AP contra o sequeiro ($p = 0,0177$). Variações nas populações também foram detectadas entre as épocas 1 e 2 para os tratamentos que receberam APO ($p = 0,0002$) e ACA ($p = 0,0008$), e entre as épocas 2 e 3 para os tratamentos irrigados. Acredita-se que as diferenças entre APF, APO e ACA, devem-se ao pH do solo irrigado com cada tipo de água em cada época de amostragem, o que pode influenciar a densidade de populações de bactérias. O solo irrigado com a água captada do aquífero (ACA), apresentou pH=8,26 na época 1 (1º ciclo), pH=8,00 na época 2 (2º ciclo) e pH=7,84 na época 3 (3º ciclo). O solo irrigado com a água produzida filtrada apresentou pH=8,64 na época 1 (1º ciclo), pH=8,27 na época 2 (2º ciclo) e pH=7,33 na época 3 (3º ciclo). O solo irrigado com a água produzida tratada por osmose reversa apresentou pH=7,37 na época 1 (1º ciclo), pH=8,10 na época 2 (2º ciclo) e pH=6,85 na época 3 (3º ciclo) (dados fornecidos pelo pesquisador L. A. Crisóstomo da Embrapa Agroindústria Tropical). Ruivo et al. (2002) estudando as propriedades do solo e fluxo de CO₂ em experimento realizado na

reserva de Caxiuanã, Pará, relataram influência de fatores ambientais, incluindo o pH do solo, na população de micro-organismos.

Figura 15 - Valores médios da densidade populacional de bactérias cultiváveis (Bact) do solo na cultura do girassol em razão dos tratamentos de irrigação e às épocas de amostragem do solo. Irrigação com água produzida tratada por filtração simples (APF) e tratada por osmose reversa (APO), água captada do aquífero Açu (ACA) e o controle sem irrigação (SEQ). Épocas de pré-plantio (E1) e pré-colheita do primeiro ciclo (E2) e pré-colheita do segundo ciclo (E3).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 9 - Estimativas de diferenças (D) e valores de *p* associados ao teste t entre médias de Bact do solo rizosférico cultivado com girassol oleífero durante o primeiro e o segundo ciclo de produção, dos tratamentos de irrigação e das épocas.

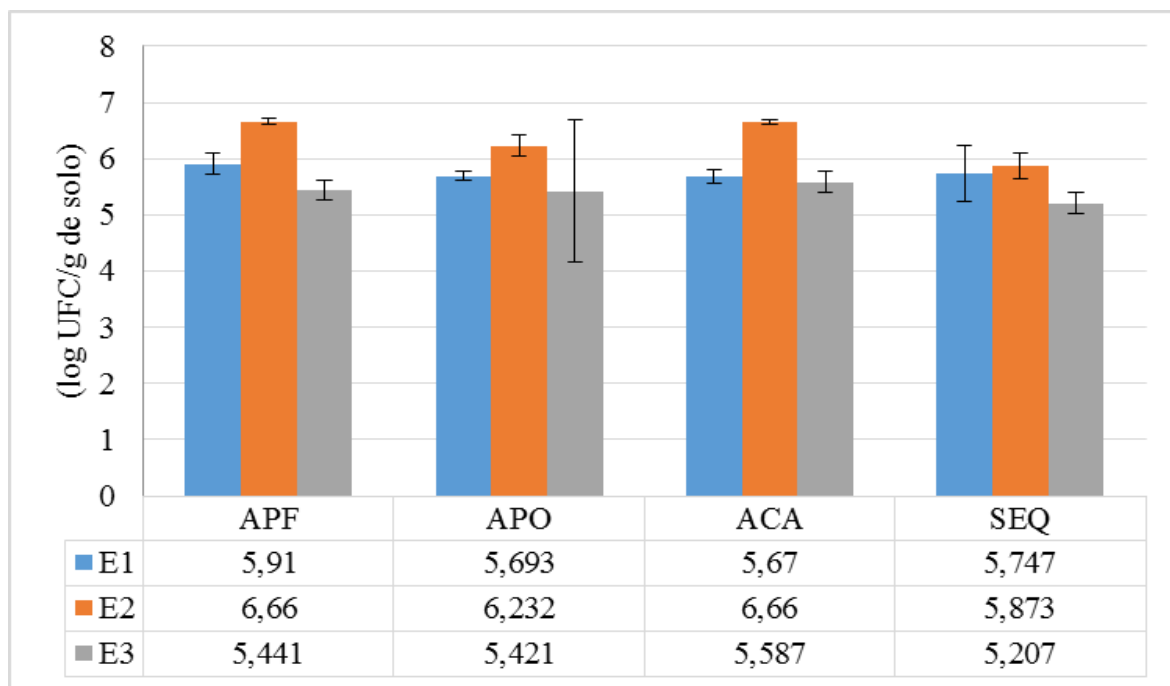
Tratamentos de irrigação vs. Épocas						
Contrastes	E1		E2		E3	
	D	<i>p</i>	D	<i>P</i>	D	<i>p</i>
APF ¹ vs. APO	-0,0900	0,7012	-0,5853	0,0218	-0,3793	0,1192
APF vs. ACA	0,0680	0,7860	-0,5280	0,0478	0,6553	0,0171
APO vs. ACA	0,1580	0,3585	0,0573	0,7360	0,2760	0,1181
AP vs. ACA	0,1130	0,5302	-0,2353	0,2002	0,4657	0,0177
APs vs. SEQ	-0,2073	0,2498	0,6181	0,0026	0,0462	0,7935

Contrastes	APF		APO		ACA		SEQ	
	D	<i>p</i>	D	<i>p</i>	D	<i>p</i>	D	<i>p</i>
E1 ² vs. E2	-0,3340	0,2805	-0,8293	0,0002	-0,9300	0,0008	0,1277	0,5343
E1 vs. E3	0,5053	0,1105	0,2160	0,2317	-0,2180	0,3513	0,4213	0,0523
E2 vs. E3	0,8393	0,0127	1,0453	<0,0001	0,7120	0,0064	0,2937	0,1634

¹Irrigação com água produzida (AP) tratada por filtração simples (APF) e tratada por osmose reversa (APO), água captada do aquífero Açu (ACA) e o controle sem irrigação (SEQ).

²E1 (pré-plantio) (ciclo 1); E2 (pré-colheita) (ciclo 1) e E3 (pré-colheita) (ciclo 2).
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 16 - Valores médios da densidade populacional de bactérias cultiváveis (Bact) do solo na cultura da mamona em razão dos tratamentos de irrigação e às épocas de amostragem do solo. Irrigação com água produzida tratada por filtração simples (APF) e tratada por osmose reversa (APO), água captada do aquífero Açu (ACA) e o controle sem irrigação (SEQ). Épocas de pré-plantio (E1) e pré-colheita do primeiro ciclo (E2) e pré-colheita do segundo ciclo (E3).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Por sua vez, na cultura da mamona (Tabela 10) não houve diferenças significativas entre os tratamentos de irrigação, exceto entre AP e o tratamento de sequeiro ($p = 0,0179$). As populações de bactéria oscilaram ao longo dos ciclos, sendo inicialmente entre as épocas 1 e 2 detectada uma redução do número de bactérias cultiváveis ($p = 0,0004$) e, posteriormente, entre as épocas 2 e 3 um aumento das populações de bactérias, evidenciando um efeito estacional.

Tabela 10 - Estimativas de diferenças (D) e valores de p associados ao teste t entre médias de Bact do solo rizosférico cultivado com mamona durante o primeiro e o segundo ciclo de produção, dos tratamentos de irrigação e das épocas.

Contrastes	Épocas		Contrastes	Tratamentos de irrigação	
	D	p		D	p
APF ¹ vs. APO	0,2416	0,3763	E1 ² vs. E2	-0,5863	0,0004
APF vs. ACA	0,0313	0,1699	E1 vs. E3	0,3411	0,0688
APO vs. ACA	-0,2102	0,4397	E2 vs. E3	0,9273	<0,0001
AP vs. ACA	-0,0894	0,5122	-	-	-
AP vs. SEQ	0,3035	0,0179			

¹Irrigação com água produzida (AP) tratada por filtração simples (APF) e tratada por osmose reversa (APO), água captada do aquífero Açu (ACA) e o controle sem irrigação (SEQ).

²E1 (pré-plantio) (ciclo 1); E2 (pré-colheita) (ciclo 1) e E3 (pré-colheita) (ciclo 2).

Fonte: Elaborado pelo autor.

As variações observadas entre as épocas de amostragem podem estar relacionadas à umidade do solo, uma vez que as épocas 1 e 2 correspondem a estação seca e, à época 3 a estação chuvosa, assim era esperada uma redução na época 2 (seca) e aumento na época 3 (chuva). Rodrigues et al. (2011) avaliaram as relações de dependência entre variabilidade quantitativa de populações de micro-organismos do solo e variações microclimáticas, incluindo a umidade, em solo de floresta tropical úmida em Melgaço, Pará, sob condições normais e solo sob condição simulada de estresse hídrico. Os autores verificaram influência direta do volume de água no solo sobre as populações microbianas, sendo que o crescimento bacteriano foi maior em solo com maior quantidade de água e o desenvolvimento fúngico, em solo com menor volume de água. O maior crescimento bacteriano em época chuvosa também foi observado por Sales et al. (2008), que avaliaram o efeito sazonal (chuva e seca) sobre o desenvolvimento de bactérias de solo em clareiras e floresta nativa provenientes de áreas de terra firme alteradas pela exploração de petróleo. Esses autores relataram maior quantidade de unidades formadoras de colônias (UFC) durante o período de chuva. Segundo Geisseler; Horwath; Scow (2011) a disponibilidade de água afeta fortemente os micro-organismos e a sua atividade no solo.

Em relação à mamona (Tabela 11), as épocas de amostragem apresentaram efeito significativo sobre a população de fungos filamentosos. Este último dado está de acordo com Hayat et al. (2002) que avaliaram o efeito, na saúde do solo, da aplicação de água produzida tratada por processos físicos, químicos e biológicos, obtida de refinaria de petróleo na Índia. Hayat et al. (2002) verificaram que a água produzida tratado não afetou significativamente a dinâmica da população fungica do solo.

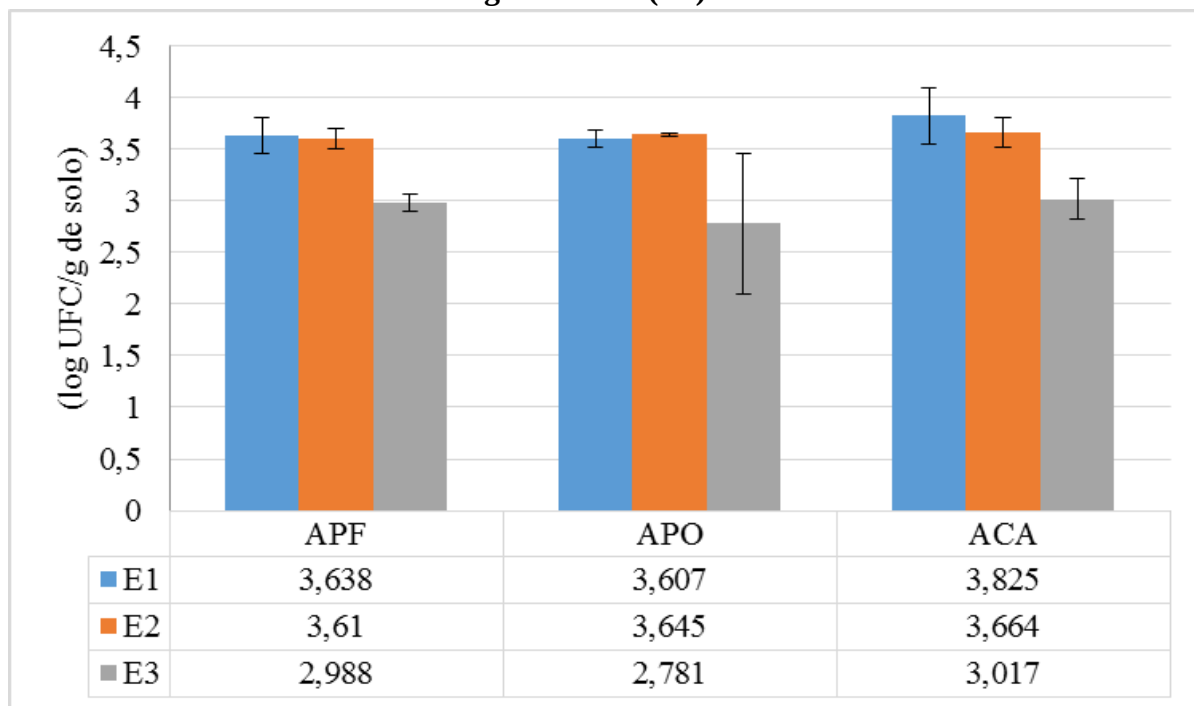
Tabela 11 - Valores de *p* associados ao teste F para densidade populacional de fungos filamentosos cultiváveis (Fung) do solo de girassol e de mamona em razão dos fatores de irrigação (I) e épocas de amostragem do solo (E) na fazenda Belém, em Aracati (CE).

Fatores	GL	Fung		GL	Fung	
		F	P		F	p
		Cultura de girassol			Cultura de mamona	
I	3	8,04	0,0085	3	2,02	0,1891
E	3	29,69	<0,0001	2	57,92	<0,0001
I vs. E	9	1,81	0,1596	6	1,94	0,1363

Fonte: Elaborado pelo autor.

As populações fúngicas variaram de 10^2 a 10^4 UFC por grama de solo seco (Figuras 17 e 18), com tendência de redução ao longo dos ciclos de cultivo das oleaginosas.

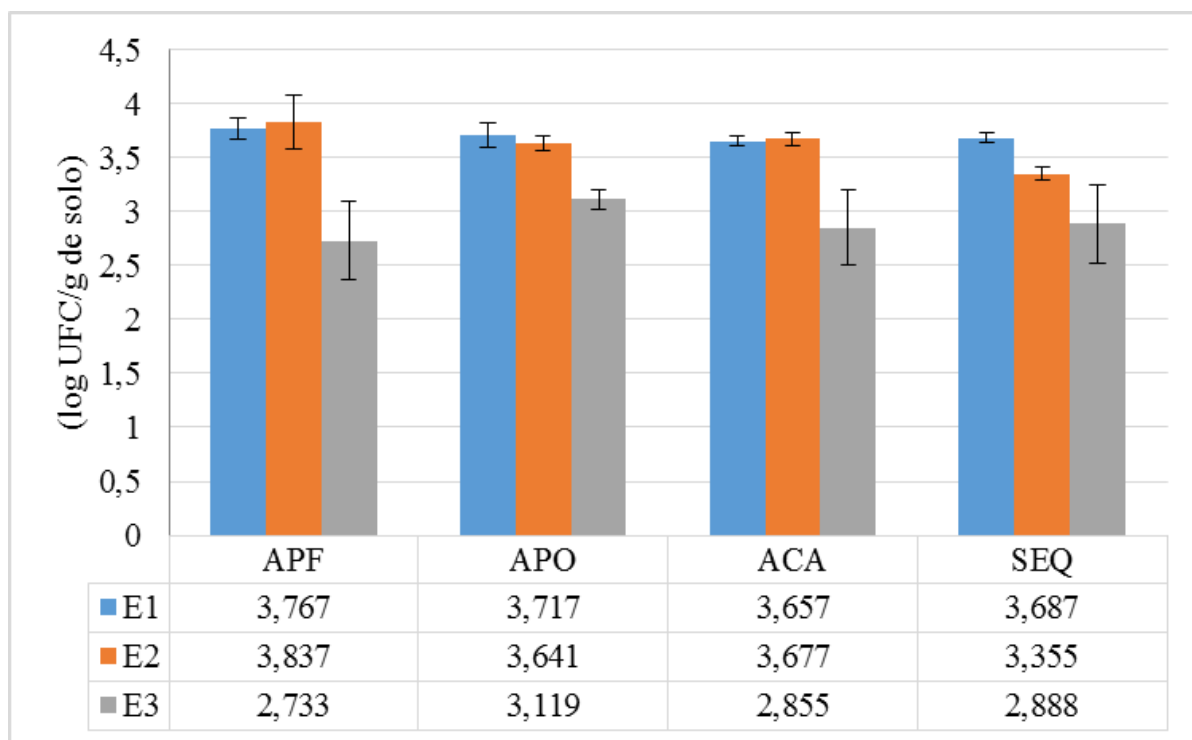
Figura 17 - Valores médios da densidade populacional de fungos filamentosos cultiváveis (Fung) do solo na cultura do girassol em razão dos tratamentos de irrigação e às épocas de amostragem do solo. Irrigação com água produzida tratada por filtração simples (APF) e tratada por osmose reversa (APO) e, água captada do aquífero Açu (ACA). Épocas de pré-plantio (E1) e pré-colheita do primeiro ciclo (E2) e pré-colheita do segundo ciclo (E3).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em ambas as oleaginosas testadas não se constatarem diferenças entre os tratamentos de irrigação sobre as populações de fungos do solo (Tabelas 12 e 13), mas elas variaram ao longo dos ciclos das culturas avaliados, indicando o efeito estacional sobre os fungos do solo. Tais variações podem estar associadas a umidade e as taxas de fluxo de calor do solo. A maior população de fungos nas épocas 1 e 2 (seca), para a maioria dos tratamentos de irrigação, pode ser justificada pela menor quantidade de água no solo e consequente aumento na taxas de fluxo de calor, favorecendo o desenvolvimento fúngico. Tal resultado corrobora com os dados obtidos por Rodrigues et al. (2011), que avaliaram o efeito das variações microclimáticas sobre a quantidade de populações de fungos do solo de floresta tropical úmida e concluíram que esses micro-organismos se desenvolvem melhor em período seco (com menor volume de água), o que provavelmente deve-se a maiores taxas de fluxo de calor, encontradas nesse período.

Figura 18 - Valores médios da densidade populacional de fungos filamentosos cultiváveis (Fung) do solo na cultura da mamona em razão dos tratamentos de irrigação e às épocas de amostragem do solo. Irrigação com água produzida tratada por filtração simples (APF) e tratada por osmose reversa (APO), água captada do aquífero Açu (ACA) e o controle sem irrigação (SEQ). Épocas de pré-plantio (E1) e pré-colheita do primeiro ciclo (E2) e pré-colheita do segundo ciclo (E3).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 12 - Estimativas de diferenças (D) e valores de *p* associados ao teste t entre médias de Fung do solo rizosférico cultivado com girassol oleífero durante o primeiro, segundo e terceiro ciclos de produção, dos tratamentos de irrigação e das épocas.

Contrastes	Épocas		Contrastes	Tratamentos de irrigação	
	D	<i>p</i>		D	<i>p</i>
APF ¹ vs. APO	0,0678	0,6830	E1 ² vs. E2	0,1665	0,1163
APF vs. ACA	-0,0898	0,2351	E1 vs. E3	0,7368	<0,0001
APO vs. ACA	-0,1577	0,3396	E2 vs. E3	0,5703	<0,0001
AP vs. ACA	-0,1238	0,2064			

¹Irrigação com água produzida (AP) tratada por filtração simples (APF) e tratada por osmose reversa (APO) e água captada do aquífero Açu (ACA).

²E1 (pré-plantio) (ciclo 1); E2 (pré-colheita) (ciclo 1) e E3 (pré-colheita) (ciclo 2).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 13 - Estimativas de diferenças (D) e valores de *p* associados ao teste t entre médias de Fung do solo rizosférico cultivado com mamona durante o primeiro e o segundo ciclo de produção, dos tratamentos de irrigação e das épocas.

Contrastes	Épocas		Contrastes	Tratamentos de irrigação	
	D	<i>p</i>		D	<i>p</i>
APF ¹ vs. APO	-0,0464	0,6523			
APF vs. ACA	0,0495	0,6750	E1 ² vs. E2	0,0792	0,3524
APO vs. ACA	0,0960	0,2278	E1 vs. E3	0,8077	<0,0001
AP vs. ACA	0,0728	0,4007	E2 vs. E3	0,7285	<0,0001
AP vs. SEQ	0,1350	0,1377			

¹Irrigação com água produzida (AP) tratada por filtração simples (APF) e tratada por osmose reversa (APO), água captada do aquífero Açu (ACA) e o controle sem irrigação (SEQ).

²E1 (pré-plantio) (ciclo 1); E2 (pré-colheita) (ciclo 1) e E3 (pré-colheita) (ciclo 2).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com relação a época 3 que coincidiu com período chuvoso, era esperada uma diminuição do número de UFC de fungos filamentosos cultiváveis, em função dos níveis de umidade, o que foi observado para a maioria dos tratamentos. Souto (2002) estudando a densidade populacional de fungos e bactérias através da dinâmica de decomposição de esterco na recuperação de solos degradados no semiárido paraibano, observou maior crescimento fúngico e menor crescimento bacteriano na época com menor índice pluviométrico, o que, segundo esse autor pode ser atribuído à diminuição, causada pela água no solo, na quantidade de O₂ fornecido, refletindo no aumento da população dos fungos e redução das populações de bactérias. Resultados semelhantes foram relatados por Souto et al. (2008) ao avaliaram as populações de micro-organismos e da mesofauna edáficos, no semiárido da Paraíba, em períodos com diferentes índices pluviométricos. De acordo com Miranda et al. (1997), principalmente em solos de textura fina, a quantidade de umidade é inversamente proporcional a disponibilidade de O₂ para o desenvolvimento dos micro-organismos.

Apesar da composição química da água produzida não ter apresentado níveis elevados de metais pesados e hidrocarbonetos, a ausência de diferença significativa entre os tipos de água sugere o uso, por parte dos micro-organismos, de compostos orgânicos como fonte de carbono. Guo et al. (2012) realizaram um estudo sobre os efeitos da contaminação por petróleo bruto sobre o número de bactérias e fungos cultiváveis, atividade metabólica e atividade da enzima urease no solo coletado em áreas com teor de total de hidrocarbonetos de petróleo (THP) baixo (poço de água de injeção), médio (poço de produção de petróleo) e alto (derramamento de óleo) em campo de petróleo de DaGang, no nordeste da China. Esses autores relataram aumento do número de populações de bactérias e de fungos cultiváveis em

função do aumento da concentração de THP em solo com baixo teor de THP. Tal condição permitiu a adaptação desses micro-organismos que utilizaram os hidrocarbonetos de baixa toxicidade de petróleo como uma fonte de carbono e energia. Os mesmo autores observaram ainda, por meio da regressão linear, correlação positiva entre TPH e matéria orgânica, sugerindo que o crescimento de fungos e bactérias pode ser atribuído a matéria orgânica, incluindo hidrocarbonetos como fonte de carbono.

4.2 COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA ARBUSCULAR

Em período de florescimento das plantas de girassol e mamona avaliou-se a colonização de raízes finas (cerca de um mm de diâmetro) por fungos micorrízicos arbusculares (Tabela 14), permitindo detectar-se efeito da interação dos tratamentos de irrigação e épocas de amostragem das raízes durante ciclos das plantas de girassol. Na cultura da mamona a colonização micorrízica não variou entre os tratamentos aplicados. As taxas de micorrização variaram de 25 a 50% em plantas de girassol (Figura 19) e de 30 e 54% na mamoneira (Figura 20).

Tabela 14 - Valores de p associados ao teste F para intensidade de colonização micorrízica arbuscular (CM) das plantas de girassol e mamona, em razão dos fatores de irrigação (I) e os ciclos de cultivo (E) na fazenda Belém, em Aracati (CE).

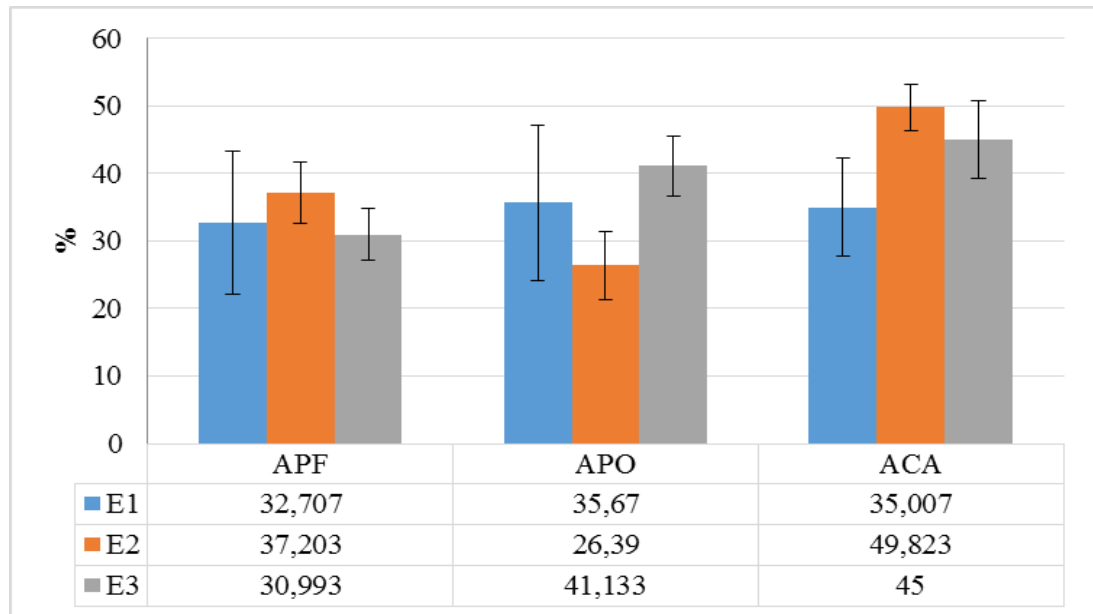
Fatores	GL	CM		GL	CM	
		F	P		F	p
		Cultura de girassol			Cultura de mamona	
I	3	3,12	0,1179	3	0,91	0,4511
E	3	2,21	0,1556	2	0,49	0,5088
I vs. E	9	7,82	0,0031	6	1,03	0,4111

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na cultura de girassol (Tabela 15) detectaram-se diferenças negativas entre os tratamentos com APF e ACA ($p = 0,0016$), APO e ACA ($p = 0,0016$) e as duas águas produzidas contra ACA ($p = 0,0016$) durante o segundo ciclo, enquanto no terceiro ciclo houve diferenças entre APF e ACA ($p = 0,0216$), permitindo demonstrar o efeito da água produzida, principalmente APF na taxa de micorrização arbuscular das plantas de girassol. No tratamento que recebeu APO as plantas apresentaram incremento na taxa de micorrização entre as épocas 1 e 2 ($p = 0,0246$) e redução entre as épocas 2 e 3 ($p = 0,0016$), enquanto no tratamento com ACA ocorreu uma redução de valores entre as épocas 1 e 2 ($p = 0,0002$) e as

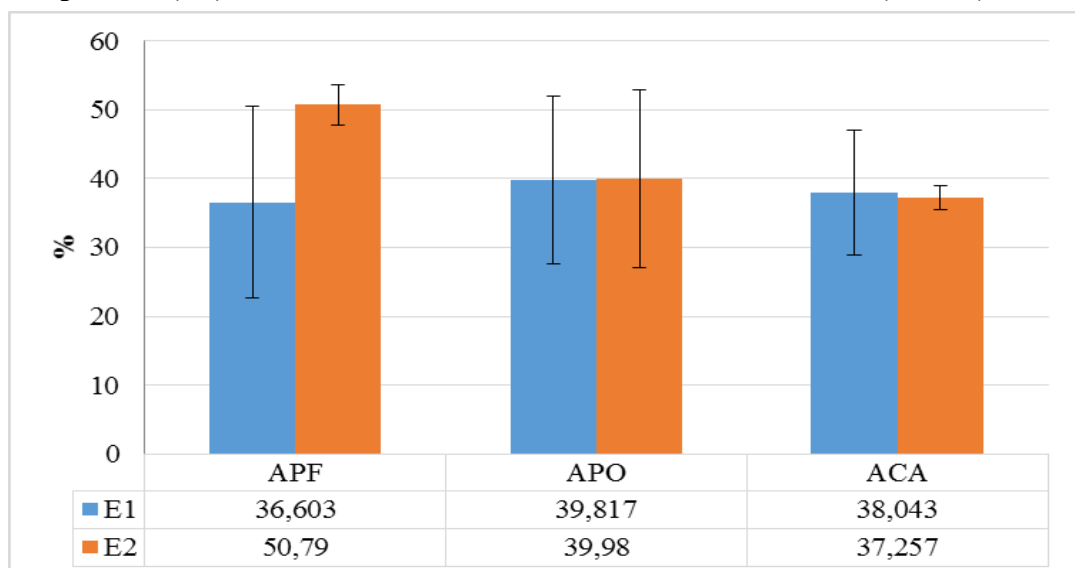
épocas 2 e 3 ($p = 0,0034$). Nos demais contrastes entre tratamentos as diferenças foram insignificantes.

Figura 19 - Intensidade de colonização micorrízica arbuscular das plantas de girassol, em razão dos tratamentos de irrigação e os ciclos de cultivo. Água produzida tratada por filtração simples (APF) e por osmose reversa (APO) e água captada do aquífero Açu (ACA). Épocas referentes ao primeiro (E1), segundo (E2) e terceiro ciclo das plantas (E3). Valores foram transformados em arco sendo $\sqrt{(x.100^{-1})}$:



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 20 - Intensidade de colonização micorrízica arbuscular das plantas de mamona em razão dos tratamentos de irrigação e os ciclos de cultivo. Irrigação com água produzida tratada por filtração simples (APF) e por osmose reversa (APO) e água captada do aquífero Açu (ACA). Épocas referentes ao primeiro (E1) e segundo ciclo das plantas (E2). Valores foram transformados em arco sendo $\sqrt{(x.100^{-1})}$:



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 15 - Estimativas de diferenças (D) e valores de *p* associados ao teste t entre médias de colonização micorrízica arbuscular de plantas de girassol durante o primeiro e o segundo ciclo de produção, dos tratamentos de irrigação e das épocas.

Contrastes	Tratamentos de irrigação vs. Épocas					
	E1		E2		E3	
	D	P	D	p	D	P
APF ¹ vs. APO	-2,9633	0,6524	14,2658	0,0619	-10,1400	0,1414
APF vs. ACA	-2,3000	0,6691	-12,6200	0,0346	-14,0067	0,0216
APO vs. ACA	0,6633	0,9132	-26,8858	0,0016	-3,8667	0,5289
AP vs. ACA	-0,8183	0,8620	-19,7529	0,0016	-8,9367	0,0781

Contrastes	APF		APO		ACA	
	D	P	D	p	D	P
E1 ² vs. E2	-4,4967	0,3081	12,7325	0,0246	-14,8167	0,0002
E1 vs. E3	1,7133	0,6917	-5,4633	0,2215	-9,9933	0,0034
E2 vs. E3	6,2100	0,1680	-18,1958	0,0034	4,8233	0,0998

¹Irrigação com água produzida (AP) tratada por filtração simples (APF) e tratada por osmose reversa (APO) e água captada do aquífero Açu (ACA).

²E1 (pré-plantio) (ciclo 1); E2 (pré-plantio) (ciclo 2) e E3 (pré-colheita) (ciclo 3).

Fonte: Elaborado pelo autor.

As variações nos dados referentes à colonização micorrízica das raízes de girassol possivelmente estão associados à salinidade do solo. APF apresentou teor de Na⁺ e Cl⁻ mais elevado (Na⁺ = 17,70 mmol_c L⁻¹; Cl⁻ = 17,72 mmol_c L⁻¹) em comparação a APO (Na⁺ = 4,54 mmol_c L⁻¹; Cl⁻ = 2,50 mmol_c L⁻¹) e ACA (Na⁺ = 10,96 mmol_c L⁻¹; Cl⁻ = 3,29 mmol_c L⁻¹) (dados fornecidos pelo pesquisador L. A. Crisóstomo da Embrapa Agroindústria Tropical).

Nas épocas secas, representadas pelos períodos de coleta 1 (1º ciclo) e 3 (3º ciclo), foram registrados aumentos no teor de sódio no solo, comprometendo à micorrização das plantas. Na época 2, a quantidade de sais diminuiu e acredita-se que tal redução ocorreu em função da chuva que provocou lixiviação destes elementos para camadas inferiores do solo, favorecendo então a colonização das raízes por fungos MA. Krishnamoorthy et al. (2014) estudando os efeitos da salinidade do solo na colonização radicular por fungos MA em uma área de recuperação costeira, na Coréia do Sul, observaram impacto negativo significativo da salinidade sobre a colonização das raízes. O aumento no nível de salinidade do solo reduziu o número de estruturas internas das raízes.

Juniper e Abbott (2006) analisaram a capacidade de germinação e crescimento de propágulos de diferentes isolados e espécies de fungos MA em solo, sob vegetação nativa na Austrália, contendo solução salina (NaCl). Esses autores verificaram que a adição de NaCl ao

solo inibiu a germinação de esporos de FMA e reduziu o crescimento de hifas para a maioria dos fungos testados. A salinidade também influenciou negativamente a taxa específica de extensão de hifas, para alguns fungos MA.

Moreira e Siqueira (2006) afirmaram que a salinidade afeta a formação e ocorrência de FMA e Jahromi et al. (2008) observaram efeito negativo da salinidade sobre a colonização de raízes. Segundo Tavares et al. (2012), a colonização micorrízica arbuscular diminuiu com o aumento da salinidade da água utilizada na irrigação de mudas de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.), o que segundo Evelin et al. (2009) pode estar relacionada toxidez de sais sobre esses fungos de solo, diminuindo a germinação de esporos e o crescimento do micélio fúngico.

Em contraste ao observado no presente estudo, Beauchamp, Walz e Shafroth (2009) analisaram o efeito da associação micorrízica arbuscular sobre a tolerância à salinidade de 42 espécies de plantas nativas no semiárido dos EUA, não encontraram nenhuma evidência de que o aumento da tolerância à salinidade afetasse a simbiose com os fungos, no entanto, algumas espécies de plantas mostraram-se altamente dependentes de fungos MA.

A colonização micorrízica arbuscular de plantas irrigadas com ACA pode ser resultado das mudanças no pH do solo, que apresentou pH=8,26 na época 1 (1º ciclo), pH=8,00 na época 2 (2º ciclo) e pH=7,84 na época 3 (3º ciclo) (dados fornecidos pelo pesquisador L. A. Crisóstomo da Embrapa Agroindústria Tropical). Carneiro et al. (2012) estudando áreas degradadas no Nordeste brasileiro, avaliaram a intensidade de colonização micorrízica arbuscular de plantas na região sob desertificação de Gilbués, estado do Piauí, verificaram que altos valores de pH (7,1-8,2) promoveram menor taxa de colonização de algumas espécies de FMA para as plantas. As variações no pH influenciam o metabolismo das plantas e possivelmente afetam a associação micorrízica arbuscular.

Na cultura de mamona a intensidade de colonização micorrízica arbuscular não foi influenciada pelos tratamentos de irrigação e pelas épocas de coleta das raízes (Tabela 16), o que pode ser devido ao baixo número de ciclos avaliados. Supõe-se alguma adaptação de fungos MA nativos às condições do solo para colonizar as raízes da mamoneira. Olivares et al. (2013) relataram a adaptação da mamona (*Ricinus communis* L.) em solo, na região árida do Zimapan, estado de Hidalgo, México, contaminado com metais pesados (Zn, Pb e Cd) provenientes das atividades de mineração e, verificaram baixas concentrações e baixos fatores de translocação desses metais nas raízes da planta, o que, segundo os mesmos autores, pode ser justificado pela colonização micorrízica arbuscular, sendo que os fungos micorrízicos podem estar envolvidos na captura de metais, já que as raízes finas de mamona apresentaram

alto teor de colonização por esses fungos (44-88%). Ainda de acordo com Olivares et al. (2013), a mamona pertence à família Euphorbiaceae e é conhecido que muitos membros desta família dependem da colonização micorrízica.

Zhang et al. (2014) analisaram o efeito da inoculação com um fungo micorrízico arbuscular, *Glomus mosseae*, e com um fungo solubilizador de fosfato, *Mortierella* sp, na rizosfera da mamona (*Ricinus communis* L.), sobre as características biológicas do solo salino costeiro, na província de Jiangsu, na China, e relataram que a inoculação com esses fungos melhorou significativamente a porcentagem de sobrevivência e de crescimento das plantas de mamona.

Tabela 16 - Estimativas de diferenças (D) e valores de *p* associados ao teste t entre médias de CM do solo rizosférico cultivado com mamona durante o primeiro e o segundo ciclo de produção, dos tratamentos de irrigação e das épocas.

Contrastes	Épocas		Contrastes	Tratamentos de irrigação	
	D	<i>p</i>		D	<i>p</i>
APF ¹ vs. APO	4,2983	0,2987	E1 ² vs. E2	-4,1878	0,5088
APF vs. ACA	6,0467	0,2269			
APO vs. ACA	1,7483	0,5442			
AP vs. ACA	3,8975	0,2685			

¹Irrigação com água produzida (AP) tratada por filtração simples (APF) e tratada por osmose reversa (APO) e água captada do aquífero Açu (ACA).

²E1 (ciclo 1) e E2 (ciclo 2).

Fonte: Elaborado pelo autor.

O fato do controle sem irrigação não ter diferido dos demais tratamentos pode ser atribuído à adaptação de FMA a condição de baixa umidade, favorecendo a absorção de água, a partir do solo, através das hifas que atuam como prolongamentos do sistema radicular (SMITH; READ, 2008). Segundo Moreira e Siqueira (2006), a esporulação de FMA tende a ser beneficiada em períodos de estresse hídrico no solo. Duan et al. (1996) relataram maior resistência do caupi inoculado, com *Glomus intraradices*, à seca, em comparação ao caupi não micorrizado. A disponibilidade de água influencia a associação simbiótica entre FMA e raízes de plantas (ENTRY et al., 2002). A umidade e a precipitação podem limitar a presença de FMA no solo (CAPRONI, 2001). Autores como Mehrota (2005) e Moreira e Siqueira (2006) afirmaram que o pH e a umidade do solo influenciam na ocorrência da associação planta-FMA-solo.

5 CONCLUSÕES

A respiração edáfica, o carbono orgânico e as populações de fungos filamentosos e bactérias cultiváveis do solo são sensíveis às águas de irrigação da cultura de girassol cv BRS 321. Por sua vez, a irrigação da cultura de mamona afeta somente a fração do carbono que é prontamente decomponível, a respiração do solo.

A irrigação com a água produzida filtrada (APF) influenciou a respiração edáfica do solo sob cultivo de mamona, durante o segundo ciclo, além do carbono orgânico total, durante o terceiro ciclo e o número de populações de bactérias cultiváveis do solo, durante o primeiro ciclo de produção de girassol.

A irrigação com APF influenciou positivamente a densidade de populações de bactérias cultiváveis do solo na cultura do girassol, ao longo de dois ciclos de produção, e negativamente a intensidade de colonização micorrízica arbuscular das raízes dessas plantas, comparada à irrigação com água do subsolo captada do aquífero Açu.

A irrigação com água produzida tratada por osmose reversa (APO) afeta de forma negativa a respiração do solo cultivado com plantas de girassol e mamona, assim como a intensidade de colonização micorrízica arbuscular das raízes de plantas de girassol, quando comparada a irrigação com água do subsolo.

Nas condições deste estudo, a irrigação com APF pode ser alternativa de produção de mamona e girassol para obtenção de biodiesel no curto período de tempo. Em trabalhos futuros devem ser consideradas as propriedades biológicas do solo no médio e longo prazo, de forma a viabilizar a produção mais sustentável das oleaginosas no semiárido.

REFERÊNCIAS

- ALZHRANI, S.; MOHAMMAD, A.W.; HILAL, N.; ABDULLAH, P.; JAAFAR, O. Comparative study of NF and RO membranes in the treatment of produced water-Part I: Assessing water quality. **Desalination**, 2013.
- AMINI, S.; MOWLA, D.; GOLKAR, M.; ESMAEILZADEH, F. Mathematical modelling of a hydrocyclone for the down-hole oil-water separation (DOWS). **Chemical Engineering Research and Design**, v. 90, n. 12, p. 2186-2195, 2012.
- ANDREONI, V.; CAVALCA, L.; RAO, M. A.; NOCERINO, G.; BERNASCORRI, S.; COLOMBO, M.; GIANFREDA, L. Bacterial communities and enzymes activities of PAH polluted soils. **Chemosphere**, v.57, n. 5, p.401-412, 2004.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Produção Nacional de petróleo (terra e mar), 2014**. Disponível em: <<http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CC8QjBAwAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.anp.gov.br%2F%3Fdw%3D1024&ei=46rPVP6GJa3msASEzYLADw&usq=AFQjCNHhAookuEDP4z8DyLPf3J6xZx8kog&bvm=bv.85076809,d.cWc>>. Acesso em 02 fev. 2015.
- APHA, AWWA, WEF. **Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater**. American Public Health Association, 100 ed. Washington: 2005.
- ARAÚJO, K.D.; ANDRADE, A.P.; BRUNO, R.L.A.; FRAGA, V.S. Avaliação da atividade microbiana baseada na produção de C-CO₂ em uma área de caatinga no Cariri Paraibano. **Caatinga**, Mossoró, v.21, n.3, p.221-230, 2008.
- ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Microbial biomass and activity in a Brazilian soil plus untreated and composted textile sludge. **Chemosphere**, Oxford, v. 64, p. 1043-1046, 2006.
- ARAÚJO, A.S.F. de; MONTEIRO, R.T.R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. Uberlândia. **Bioscience Journal**, v.23, n.3. p. 66-75, 2007.
- BEAUCHAMP, V.B.; WALZ, C.; SHAFROTH, P.B. Salinity tolerance and mycorrhizal responsiveness of native xeroriparian plants in semi-arid western USA. **Applied Soil Ecology**. v. 43, v. 2-3, p. 175-184, 2009.
- BONILLA, N.; CAZORLA, F.M.; MARTÍNEZ-ALONSO, M.; HERMOSO, J.M.; GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, J.J.; GAJU, N.; LANDA, B.B.; VICENTE, A. Organic amendments and land management affect bacterial community composition, diversity and biomass in avocado crop soils. **Plant Soil**, v. 357, p. 215–226, 2012.
- BRASIL. **Conselho Nacional de Meio Ambiente**. Resolução nº 396 de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 7 de abril de 2008.

BROOKES, P.C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. **Biology and Fertility of Soils**, v.19, p. 269-279, 1995.

CADERNOS NAE - **Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República-nº 2**. Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica. Brasília-DF, 2004.

CAPRONI, A.L. **Fungos micorrízicos arbusculares em áreas reflorestadas remanescentes da mineração de bauxita em Porto Trombetas/PA**. Tese [Doutorado em Fitotecnia] – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2001.

CARNEIRO, R.F.V.; CARDOZO JÚNIOR, F.M.; PEREIRA, L.F.; ARAÚJO, A.S.F.; SILVA, G.A. Fungos micorrízicos arbusculares como indicadores da recuperação de áreas degradadas no Nordeste do Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 4, p. 648-657, 2012.

CASTRO, C. **Embrapa Soja. Palestra: Produção de alimentos x energia: Estudo de caso do óleo de girassol**. In: 5º Painel do Ciclo “Civilização da Biomassa”. São Paulo, 2007.

CATTELAN, A.J.; VIDOR, C. Flutuação na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 14, n. 1, p. 133-142, 1990.

CAVALCANTI, U.M.T.; GOTO, B.T.; MAIA, L.C. Aspectos da simbiose micorrízica arbuscular. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, Recife, vols. 5 e 6, p.180-208, 2008-2009.

CHAKRABARTY, B.; GHOSHALAND, A.K.; PURKAIT, M.K. Ultrafiltration of stable oil-in-water emulsion by polysulfone membrane. **Journal of Membrane Science**, v. 325, n. 1, p. 427-437, 2008.

CHATZAKIS, M.K.; TZANAKAKIS, V.A.; MARA, D.D.; ANGELAKIS, A.N. Irrigation of castor bean (*Ricinus communis* L.) and sunflower (*Helianthus annuus* L.) plant species with municipal wastewater effluent: impacts on soil properties and seed Yield. **Water**, v.3, p.1112-1127, 2011.

CHEN, W.; WU, L.; FRANKENBERGER, W.T. Jr.; CHANG, A.C. Soil enzyme activities of long-term reclaimed wastewater-irrigated soils. **J. Environ. Qual.**, v. 37, n. 5, p. 36-42, 2008.

CORKIDI, L.; ROWLAND, D.L.; JOHNSON, N.C.; ALLEN, E.B. Nitrogen fertilization alters the functioning of arbuscular mycorrhizas at two semiarid grasslands. **Plant Soil**, v.240, p. 299–310, 2002.

DALAL, R.C.; MAYER, R.J. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. II. Total organic carbon and its rate of loss from the soil profile. **Aust. J. Soil Res.**, v. 24, p. 281-292, 1986.

D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O.; CARNEIRO, M.A.C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.26, p. 913-923, 2002.

D'ANDREA, W.J.; LAGE, M.; MARTINY, J.B.H.; LAATSCH, A.D.; AMARAL-ZETTLER, L.A.; SOGIN, M.L.; HUANG, Y. Alkenone producers inferred from well-preserved 18S rDNA in Greenland lake sediments. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v.111, n. 3, p. 2005–2012, 2006.

DELBEM, F. C.; SCABORA, M. H.; SOARES FILHO, C. V.; HEINRICHS, R.; CROCIOLLI, C. A., CASSIOLATO, A. M. R. Fontes e doses de adubação nitrogenada na atividade microbiana e fertilidade do solo cultivado com *Brachiaria brizantha*. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 361-367, 2011.

DINIZ, L.T.; RAMOS, M.L.G.; VIVALDI, L.J.; ALENCAR, C.M.; JUNQUEIRA, N.T.V. Alterações microbianas e químicas de um Gleissolo sob macaubeiras nativas em função da variação sazonal e espacial. **Biosci. J.**, v. 30, n. 3, p. 750-762, 2014.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (eds). **Defining soil quality for a sustainable environment**. SSSAJ, Madison, v. 35, p. 3-22, 1994.

DUAN, X.; NEUMAN, D. S.; REIBER, J. M.; GREEN, C. D.; SAXTON, A. M.; AUGÉ, R. M. Mycorrhizal influence on hydraulic and hormonal factors implicated in the control of stomatal conductance during drought. **Journal of Experimental Botany**, v.47, n. 303, p. 1541-1550, 1996.

EMBRAPA. **Cultivares de girassol da Embrapa chegam ao mercado**. Net. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1462213/cultivares-de-girassol-da-embrapa-chegam-ao-mercado>>. Acesso em 08 fev. 15.

ENTRY, J. A.; RYGIEWIEZ, P. T.; WATRUD, L. S.; DONNELLY, P. K. Influence of adverse soil conditions on the formation and function of arbuscular mycorrhizas. **Advances in Environmental Research**, v.7, p.123-138, 2002.

EVELIN, H.; KAPOOR, R.; GIRI, B. Arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress: a review. **Annals of Botany**, v. 104, n. 07, p. 1263-1280, 2009.

FIGUEREDO, K.S.L. **Estudo da água produzida em diferentes zonas de produção de petróleo, utilizando a hidroquímica e a análise estatística de parâmetros químicos**. Dissertação [Mestrado em Química] – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2010.

FLOTRON, V.; DELTEIL, C.; PADELLEC, Y.; CAMEL, V. Removal of sorbed polycyclic aromatic hydrocarbons from soil, sludge and sediment samples using the Fenton's reagent process. **Chemosphere**, v. 59, p. 1427-1437, 2005.

GAMA-RODRIGUES, E.F. **Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes**. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese, p.227-243, 1999.

GEISSELER, D.; HORWATH, W.; SCOW, K. Soil moisture and plant residue addition interact in their effect on extracellular enzyme activity. **Pedobiologia**, v. 54, p.71-78, 2011.

GEISSELER, D.; JOERGENSEN, R.G.; LUDWIG, B. Potential soil enzyme activities are decoupled from microbial activity in dry residue-amended soil. **Pedobiologia**, v. 55, p.253-261, 2012.

GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. Evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytol.**, v.84, p. 489–500, 1980.

GRAYSTON, S. J.; JONES, D. V. D. Rhizosphere carbon flow in trees, in comparison with an annual plant: the importance of root exudation and its impact on microbial activity and nutrient availability. **Applied Soil Ecology**, v. 5, n. 1, p. 29-56, 1996.

GUO, H.; YAO, J.; CAI, M.; QIAN, Y.; GUO, Y.; RICHNOW, H.H.; BLAKE, R.E.; DONI, S.; CECCANTI, B. Effects of petroleum contamination on soil microbial numbers, metabolic activity and uréase activity. **Chemosphere**, v. 87, p. 1273-1280, 2012.

HAYAT, S.; AHMAD, I.; AZAM, Z.M.; INAM, A.; SAMIULLAH. Effect of long-term application of oil refinery wastewater on soil health with special reference to microbiological characteristics. **Bioresource Technology**, v. 84, p.159–163, 2002.

JACINTO JUNIOR, A.; SAMPAIO, A.C.; SILVA, A.F.; CHRISTIANO, F.P.; FREIRE, N.O. PEREIRA JUNIOR, O.A. **Tratamento da água produzida do campo de fazenda belém** (PETROBRAS, UN/RNCE) para remoção de sílica. In: RIO OIL & GAS EXPO AND CONFERENCE, 2008, Rio de Janeiro, RJ. Proceedings... Rio de Janeiro [s.n.].

JAHROMI, F.; AROCA, R.; PORCEL, R.; RUIZ-LOZANO, J.M. Influence of salinity on the in vitro development of *Glomus intraradices* and on the in vivo physiological and molecular responses of mycorrhizal lettuce plants. **Microbial Ecology**, v. 55, p. 45–53.

JEFFRIES, P.; BAREA, J.M. **Arbuscular mycorrhiza: a key component of sustainable plant–soil ecosystems**. In: Hock B (ed) *The Mycota. Vol IX: fungal associations*, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, p. 95–113, 2001.

JENKINSON, D.S.; POWLSON, D.S. The effect of biocidal treatment on metabolism in soil. A method of measuring soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v.8, n.3, p.209-213, 1976.

JUNIPER, S.; ABBOTT, L.K. Soil salinity delays germination and limits growth of hyphae from propagules of arbuscular mycorrhizal fungi. **Mycorrhiza**, v.16, p.371-379, 2006.

KANCHIKERIMATH, M.; SINGH, D. Soil organic matter and biological properties after 26 years of maize-wheat-cowpea cropping as affected by manure and fertilization in a Cambisol in semiarid region of India. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 86, p. 155–162.

KRISHNAMOORTHY, R.; KIM, K.; KIM, C.; SA, T. Changes of arbuscular mycorrhizal traits and community structure with respect to soil salinity in a coastal reclamation land. **Soil Biology & Biochemistry**, v.72, p. 1-10, 2014.

LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, J.C.L.; MACHADO, P.L.O.A.; GALVÃO, J.C.C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e

sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.27, p.821-832, 2003.

LEITE, R.M.V.B. de C.; BRIGHENTI, A.M.; CASTRO, C. de. (Ed.). **Girassol no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, p. 641, 2005.

LOPES, E. D. O. R. **Efeito da água produzida nos atributos microbiológicos do solo sob cultivo de plantas no semiárido**. Dissertação [Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais] - Universidade Federal do Ceará, 2013.

LOPES, E.D.O.R.; WEBER, O.B.; CRISÓSTOMO, L.A.; MATTOS, E.P.N.B. Short-term effects of produced water on microbial activity in semiarid soil. **Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci**, v. 3, n. 2, p. 395-403, 2014.

MACHINESKI, O.; BALOTA, E.L.; SOUZA, J.R.P. Resposta da mamoneira a fungos micorrízicos arbusculares e a níveis de fósforo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, p. 1855-1862, 2011.

MACKOVÁ, M.; KUEROVÁ, P.; DEMNEROVÁ, K.; LEIGH, M.B.; POLÁCHOVÁ, L.; TOTEVOVÁ, S.; BURKHARD, J.; KATÁNEK, F.; MACEK, T. **Practical use of bioremediation for PCB removal from contaminated soil using plants**. In: Hofman, M, Anné J, editors. Proc. 9th Eur. Congr. of Biotechnology, Brussels, July 1999, in press.

MEHROTA, V.S. **Mycorrhizas: role and applications**. New Delhi. Allied Publishers. 2005.

MELO, M.V.; SCHÜTER, H.E.; FERREIRA, J.; MAGDA, R.; JÚNIOR, A.; AQUINO, O. Advanced performance evaluation of a reverse osmosis treatment for oilfield produced water aiming reuse. **Desalination**, Germany, v.250, p. 1016–1018, 2010.

MERCANTE, F.M.; SILVA, R.F.; 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 Sci. Agron**, v. 34, p. 479-485, 2008.

MIELNICZUK, J. **Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas**. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Genesis, 1999. p.1-8.

MIRANDA, C.S.S.; FERREIRA, M.G.V.X.; MENEZES, M. **Atividade biológica de solos com A Chernozêmico na Zona da Mata Norte de Pernambuco**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. Anais. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.1-4, 1997.

MOREIRA, F.M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. ed. 2. Lavras: UFLA, 2006.

MOTTA, A.R.P.; BORGES, C.P.; KIPERSTOK, A.; ESQUERRE, K.P.; ARAUJO, P.M.; BRANCO, L.P.N. Tratamento de água produzida de petróleo para remoção de óleo por processos de separação por membranas: revisão. **Eng Sanit Ambient**, v.18 n.1, p. 15-26, 2013.

NUERNBERG, N.J.; VIDOR, C. & STAMMEL, J.G. Efeito de sucessões de culturas e tipos de adubação na densidade populacional e atividade microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.8, p.197-203, 1984.

PASCUAL, I.; ANTOLÍN, M.C.; GARCÍA, C.; POLO, A.; SÁNCHEZ-DÍAZ, M. Effect of water deficit on microbial characteristics in soil amended with sewage sludge or inorganic fertilizer under laboratory conditions. **Bioresource Technology**, v. 98, p. 29-37, 2007.

PEACOCK, P. **Beneficial use of produced water in the Indian basin field: Eddy County, NM. Midland: Marathin Oil Company.** Presented at the Ground Water Protection Council Produced Water Conference, Colorado Springs, p. 16-17, 2002.

PEREIRA, S.P.P.; OLIVEIRA, R.; COELHO, S.; MUSSO, C.; SOARES, A.M.V.M.; DOMINGUES, I.; NOGUEIRA, A.J.A. From sub cellular to community level: Toxicity of glutaraldehyde to several aquatic organisms. **Science of the Total Environment**, p. 147-158, 2014.

PHILIPS, J.M.; HAYMAN, D.S. 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, 1970.

QIAN, Z.; LIU, X.; YU, Z.; ZHANG, H.; JÜ, Y. A Pilot-scale Demonstration of Reverse Osmosis Unit for Treatment of Coal-bed Methane Co-produced Water and Its Modeling. **Chinese Journal of Chemical Engineering**, v. 20, p. 302—311, 2012.

QIU, S.; HUANG, D.; LIN, X. Effects of fertilization regimes on tea yields, soil fertility, and soil microbial diversity. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v.74, n. 3, 2014.

RIGOBELLO, E.C. & NAHAS, E. Flutuação sazonal da comunidade bacteriana e da atividade microbiana em solos sob eucalipto e pinus. **Sci. Agric.**, v. 61, p. 88-93, 2004.

RODRIGUES, H.J.B.; ABREU SÁ, L.D.; RUIVO, M.L.P.; COSTA, A.C.L.; SILVA, R.B.; MOURA, Q.L.; MELLO, I.F. Variabilidade quantitativa de população microbiana associada às condições microclimáticas observadas em solo de floresta tropical úmida. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.4, p. 629 - 638, 2011.

RUIVO, M. L. P. et al. Propriedades do solo e fluxo de CO₂ em Caxiuanã, Pará: experimento LBA- Esecafloor. In: KLEIN, E.L.; VASQUEZ, M.L.; ROSA-COSTA, M.L. (Orgs.) **Contribuições à Geologia da Amazônia**, V.3. SBG-Núcleo Norte, 2002, p. 291-299.

ROS, M., HERNA´NDEZ, M.T., GARCÍA, C. Soil microbial activity after restoration of a semiarid soil by organic amendments. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 35, p. 463-469, 2003.

ROSA, J.J. **Desenvolvimento de um novo processo de tratamento de águas oleosas- Processo FF.** Prêmio Jovem Cientista-Água: Fonte de Vida, 19. Porto Alegre-RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia. p. 33, 2003.

SALES, T. M. et al. Diversidade de bactérias de solo em clareiras e floresta nativa provenientes de áreas de terra firme alteradas pela exploração de petróleo. In: SEMINÁRIO

DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL, 12, 2008, Belém. **Anais...** Belém: Embrapa, 2008.

SANTOS, K.C.F.; SILVA, M.S.L.; SILVA, L.E.; MIRANDA, M.A.; FREIRE, M.B.G.S. Atividade biológica em solo salino sódico saturado por água sob cultivo de *Atriplex numulária*. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 3, p. 619-627, 2011.

SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: Ecossistemas Tropicais e Subtropicais**. ed. 2. Porto Alegre: Metropole, p. 201-227, 2008.

SANTOS JÚNIOR, J. A. et al. Cultivo de girassol em sistema hidropônico sob diferentes níveis de salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 842-849, 2011.

SANTOS JUNIOR, J.A.; GHEYI, H.R.; DIAS, N.S.; ARAUJO, D.L.; GUEDES FILHO, D.H. Substratos e diferentes concentrações da solução nutritiva preparada em água residuária no crescimento do girassol. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 4, p. 696-707, 2014.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT: User's guide version 9.2 (software)**. Cary, 2008.

SAVIOZZI, A.; BUFALINO, P.; LEVI-MINZI, R.; RIFFALDI, R. Biochemical activities in a degraded soil restored by two amendments. **Biology and Fertility of Soils**, v. 35, p. 96-101.

SAVY FILHO, A. **Mamona: tecnologia agrícola**. Campinas: Emopi, 2005.

SCHLÜTER, H.E.P.E. **Amostragem da água produzida do campo de Fazenda Belém, bacia potiguar, em níveis de potabilidade**. Dissertação [Mestrado em Engenharia Civil] - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

SEYBOLD, C. A.; HERRICK, J. E.; BREDJA, J. J. Soil resilience: a fundamental component of soil quality. **Soil Science**, Madison, v.164, p. 224-233, 1998.

SHARMA, K.L., MANDAL, U.K., SRINIVAS, K., VITTAL, K.P.R., MADAL, B., GRACE, J.K., RAMESH, V. Long-term soil management effects on crop yields and soil quality in a dryland Alfisol. **Soil Till. Res**, v. 83, p. 246-259, 2005.

SILVA, F.C. **Manual de análises químicas de solo, plantas e fertilizantes**. ed. 2. rev. ampl. - Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

SILVA, C.F.; PEREIRA, M.G.; MIGUEL, D.L.; FEITOSA, J.C.F.; LOSS, A.; MENEZES, C.E.G.; SILVA, E.M.R. Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no Médio Vale do Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 36, p. 1680-1689, 2012.

SILVA NETO, A.C.; TONHOLO, J.; ZANTA, C.L.P. S. **Desenvolvimento de eletroflotadores para tratamento de água de produção de petróleo**. In: Congresso Brasileiro de P & D em Petróleo e Gás Natural, nº 3, Trabalho Técnico Científico. Salvador, Bahia, 2005.

SIMON, J. **Culturas bioenergéticas: produção de biomassa, decomposição e liberação de nitrogênio dos resíduos culturais.** Dissertação [Mestrado em Ciência do Solo] - Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

SMITH, S.E.; READ, D.J. **Mycorrhizal Symbiosis**, ed 3. Academic Press, New York, 2008.

SOUTO, P.C. **Estudo da dinâmica de decomposição de esterco na recuperação de solos degradados no semiárido paraibano.** Dissertação [Mestrado em Manejo de Solo e Água] - Universidade Federal da Paraíba, 2002.

SOUTO, P.C.; SOUTO, J.S.; MIRANDA, J.R.P.; SANTOS, R.V.; ALVES, A.R. Comunidade microbiana e mesofauna edáficas em solo sob Caatinga no semi-árido da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, p. 151-160, 2008.

SOUZA, E.D. de; COSTA, S.E.V.G. de A.; LIMA, C.V.S. de; ANGHINOMI, I.; MEURER, E.J.; CARVALHO, P.C. de F. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistema de integração agricultura-pecuária submetido a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1273-1282, 2008.

TAVARES, R.C.; MENDES FILHO, P.F.; LACERDA, C.F.; SILVA, J. Colonização micorrízica e nodulação radicular em mudas de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) sob diferentes níveis de salinidade, **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 3, p. 409-416, 2012.

TORRES, A.N.L.; PEREIRA, P.R.G.; TÔRRES, J.T.; GALLOTTI, G.J.M.; PILATI, J.A.; REBELO, J.A.; HENKELS, H. A salinidade e suas implicações no cultivo de plantas. **Epagri**, v. 215, p.54, 2004.

VIEIRA, R.M.; LIMA, E.F.; BATISTA, F.A.S. **Diagnóstico e perspectivas da mamona no Brasil.** Anais da Reunião Temática de Matérias-Primas Oleaginosas no Brasil: Diagnóstico, Perspectivas e Prioridades de Pesquisa. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, p.139-150, 1998.

ZHAO, H.L.; HE, Y.H.; ZHOU, R.L.; SU, Y.Z.; LI, Y.Q.; DRAKE, S. Effects of desertification on soil organic C and N content in sandy farmland and grassland of Inner Mongolia. **Catena**, v.77, p.187-191, 2009.