

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**

**MARILYA GABRYELLA FERNANDA DE SOUSA**

**ALTERAÇÕES NOS ATRIBUTOS DE LUVISSOLOS SOB IRRIGAÇÃO  
NA REGIÃO DO SUBMÉDIO DO RIO SÃO FRANCISCO,  
PERNAMBUCO**

**RECIFE**

**2018**



Marilya Gabryella Fernanda de Sousa  
Engenheira Agrônoma

**Alterações nos atributos de Luvissole sob irrigação na região do submédio do Rio São  
Francisco, Pernambuco**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Valdomiro Severino de Souza Júnior

Coorientadora: Profa. Dra. Giselle Gomes Monteiro Fracetto

**Recife  
2018**

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE  
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

S725a Sousa, Marilya Gabryella Fernanda de.

Alterações nos atributos de luvisolos sob irrigação na região do submédio do Rio São Francisco, Pernambuco / Marilya Gabryella Fernanda de Sousa. - Recife, 2018.

110 f.: il.

Orientador(a): Valdomiro Severino de Souza Júnior.

Coorientador(a): Giselle Gomes Monteiro Fracetto e Jane Kelly Silva Araujo.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Recife, BR-PE, 2018.

Inclui referências e apêndices.

1. Solos - Formação 2. Sustentabilidade 3. Sociologia 4. Química do solo 5. Física do solo I. Souza Júnior, Valdomiro Severino de, orient. II. Fracetto, Giselle Gomes Monteiro, coorient. III. Araujo, Jane Kelly Silva, coorient. IV. Título

CDD 664

MARILYA GABRYELLA FERNANDA DE SOUSA

**Alterações nos atributos de Luvissole sob irrigação na região do submédio do Rio São Francisco, Pernambuco**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Aprovada em 10 de agosto de 2018

---

Prof. Dr. Valdomiro Severino de Souza-Júnior  
Orientador  
Universidade Federal Rural De Pernambuco

BANCA EXAMINADORA

---

Dr. Jean Cheyson Barros dos Santos  
Universidade Federal Rural De Pernambuco

---

Dr. Flávio Adriano Marques  
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA



À Deus, minha família e amigos, em especial  
aos meus pais e minha irmã , por todo  
apoio, amor e compreensão.

**DEDICO**





## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me honrar de forma especial e única. Tenho certeza que se não fosse Ele não conseguiria chegar até aqui. Gratidão Senhor.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco pela oportunidade e qualidade de ensino na Pós-Graduação em Ciência do Solo.

A FACEPE pela concessão da bolsa.

Ao meu orientador prof. Dr. Valdomiro Severino de Souza Júnior pelo apoio, compreensão, investimento de energia e por acreditar em mim. O senhor foi fundamental para o alcance da minha conquista. Obrigada por todo conhecimento científico repassado.

Ao Dr. José Coelho de Araújo Filho por toda disponibilidade em viajar para o trabalho de campo e posterior ajuda na parte escrita.

Ao Dr. Jean Cheyson e ao Prof. Mateus Rosas Ribeiro Filho por toda ajuda na participação da banca do seminário B, pela disponibilidade e toda contribuição.

Ao Dr. Flávio Adriano Marques por ter aceito participar da minha banca de defesa. Desde já, agradeço sua disponibilidade e toda contribuição.

A Pós-Doutoranda Jane Kelly Silva Araujo que está sendo minha coorientadora e me ajudando incansavelmente, tirando todas minhas dúvidas pacientemente e sempre esta a disposição. Muito obrigada Jane, você foi incrível comigo.

A minha coorientadora Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Giselle Gomes Fracetto por toda ajuda, paciência e disposição. A senhora me ajudou em um grande momento da minha vida e serei sempre grata.

Aos professores da pós-graduação por todo ensinamento, em especial a professora Caroline Miranda Biondi por seu jeito único de me tratar e que em apenas um abraço consegue confortar e passar a mensagem que tudo no final dará certo. Obrigada Professora.

Aos membros do grupo de pesquisa, Nara, Stephany, Jane, Laércio, Jean, Artur, Vitória, Eva e Juliet, por toda amizade e ensinamentos.

Impossível não agradecer as três pessoas mais importantes da minha vida. Meu pai, meu herói, que tanto investe na minha educação e apoia incansavelmente as minhas escolhas, a minha mãe que tanto me ajudou nos momentos difíceis e minha irmã por sempre ser tão positiva e acreditar no meu potencial. Eu amo infinitamente vocês.

Agradeço a minha grande amiga-irmã Gabriela Souza por essa amizade fiel desde a infância e por todo companheirismo nesse mestrado. Sem dúvidas me ajudou muito a ter paciência e acreditar que no final tudo daria certo.

Agradeço as amigas da graduação (Neila, Bárbara e Amanda) que sempre me apoiaram nas minhas escolhas e que mesmo tomando caminhos diferentes dos meus, confiaram, acreditaram e estão felizes por mim.

Não poderia de deixar de agradecer exclusivamente a Vitória, uma grande amiga que sempre esteve ao meu lado desde a graduação e por vontade de Deus também na pós-graduação no mesmo grupo de pesquisa. Muita honra e alegria poder dividir tantos momentos com você e saber que em uma caminhada tão difícil você estava comigo em todos os momentos.

Agradeço de todo coração ao meu grande amigo Alan Henrique, por toda ajuda nas dificuldades que encontrei no meio do caminho, conte comigo sempre e fico feliz por você ter optado por fazer parte também de uma carreira acadêmica, sucesso amigo.

Aos meus amigos de colégio que sempre torceram, acreditaram em mim e ficam felizes com mais um sonho meu realizado. Obrigada Alysson Henrique, Lívia Clemente, Rochelle Sonely, Thaís Gabriela e Victor Hugo, amo vocês.

Agradeço a minha grande amiga Anielly Ramos que apesar de toda distância sempre manteve contato comigo e me apoiou muito nesses dois anos de mestrado. Obrigada amiga.

Agradeço as melhores amigas da pós-graduação que junto comigo formamos o quarteto mais maravilhoso do mundo (Evinha, Ju e Vito). Vocês foram fundamentais para que isso hoje pudesse está acontecendo. Obrigada por todos os momentos, principalmente os de descontração.

Agradeço a Luiz Henrique por toda paciência, momentos de descontração e por ser sempre presente me dando força e acreditando que tudo no final dará certo. Obrigada.

A melhor funcionária do programa de Pós-Graduação em Ciência do solo, Help (Socorro). A senhora torna tudo mais leve e nos ajuda sempre quando precisamos.

Agradeço em especial aos amigos do Laboratório de Microbiologia (Petrônio, Victor, Tiago, Cíntia, Yuri e Felipe) que me acolheram e me ajudaram em tudo que precisei. Vocês foram maravilhosos comigo.

Agradeço imensamente a Ana Emília (estagiária amada) que me ajudou muito nas análises laboratoriais. Amei poder conviver com você, sucesso. Agradeço também a Artur e Taiza por toda ajuda nas análises mineralógicas e momentos de descontração.

Aos colegas de sala e de corredor Manu, Will, Mayame, Drica, obrigada pelas risadas, parcerias e ensinamentos.

Agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para minha formação.



## **Alterações nos atributos de Luvissole sob irrigação na região do submédio do Rio São Francisco, Pernambuco**

### **RESUMO**

A irrigação destaca-se por ser uma tecnologia fundamental para garantir a sustentabilidade na produção agrícola, principalmente em regiões semiáridas e áridas, podendo assegurar desenvolvimento econômico da região a qual não haveria viabilidade econômica do empreendimento. O uso da irrigação em regiões semiáridas poderá acarretar em mudanças no regime de umidade dos solos e causar vários efeitos sobre propriedades e processos dos solos contribuindo para alterações nos atributos físicos, químicos, mineralógicos, microbiológicos e na sua pedogênese. O presente trabalho tem o objetivo caracterizar morfológica, física, química, mineralógica e microbiologicamente dois perfis de solos, sendo um sob irrigação por 26 anos e outro em condições naturais, na região do submédio do Rio São Francisco, no município de Belém de São Francisco. Para tanto, foram abertos 2 perfis de solos, um em área sob irrigação e outro em área não irrigada, os quais foram descritos morfológicamente e coletado amostras deformadas e indeformadas. Também foram coletadas amostras para estudos microbiológicos, as quais foram submetidas à refrigeração ainda em campo até o laboratório. As amostras foram submetidas às análises físicas, químicas, mineralógicas e microbiológicas visando identificar as possíveis alterações devido ao uso da irrigação e mudanças nos processos envolvidos na formação e evolução desses solos. O Perfil 1 localizado na área de irrigação foi classificado como Luvissole Crômico Órtico vertissólico e o Perfil 2 como Luvissole Crômico Órtico sódico vertissólico sálico. Fisicamente e morfológicamente os perfis sofreram poucas alterações. O perfil 2 apresentou condições sálicas. Mineralogicamente os perfis apresentam diferença ficando claro a maior alteração no perfil 1. A estrutura das comunidades microbianas, diferente do que se esperava no perfil irrigado, apresentou uma grande diferença em profundidade em relação às bactérias, os fungos já apresentaram uma similaridade maior em profundidade, porém os dois grupos apresentaram uma nova comunidade no perfil 1. O índice de manejo de carbono foi considerado positivo e o carbono lábil tem grande influência no carbono orgânico do solo.

Palavras-chave: Pedogênese. Sustentabilidade. Índice de manejo do carbono. Estrutura de comunidade microbiana.



## **Alteration in the attributes of a Luvisolo under irrigation in the Sub-medium part of the San Francisco River**

### **ABSTRACT**

Irrigation stands out as a fundamental technology to ensure the sustainability of the agricultural production, especially in arid and semi-arid regions. It may also assure the economic development of the region, which would not have economic viability without it. The use of irrigation in semi-arid regions may lead to changes in the soil moisture patterns and it may also cause various effects on the soil properties and processes, contributing to changes on the physical, chemical, mineralogical, microbiological attributes and its pedogenesis. This work aims to characterize two soil profiles morphologically, chemically, physically, mineralogically and microbiologically. One of them has been under irrigation for over 26 years and the other one under its natural conditions. They are both located at the sub-medium region of the São Francisco River, in the city of Belém de São Francisco. Two soil profiles were open for the soil characterization, one in an area under irrigation and other in a non-irrigated area, which were described morphologically and had deformed and undeformed samples collected. Samples were also collected for microbiological studies, which were kept under refrigeration from field up to the laboratory. The samples were submitted to physical, chemical, mineralogical, and microbiological analyzes aiming to identify possible alterations due to the use of irrigation, and changes in the processes related to formation and evolution of these soils. The Profile 1 (P1) located at an irrigated area was classified as Luvisolo Crômico Órtico vertissólico; and the Profile 2 (P2) as Luvisolo Crômico Órtico sódico vertissólico sálico. Regarding chemistry and morphology the profiles suffered a few alterations. The profile P2 showed salic conditions. However, regarding mineralogy the profiles presented some differences, which were greater in the Profile P1. The microbial communities structure, different from what was expected in the irrigated profile, presented a substantial difference in depth relating to bacteria, on the other hand fungi presented a greater similarity relating to depth. However, the two groups showed a new community in the Profile P1. Carbon Management index was considered positive and the labile carbon had a great influence in the soil organic carbon.

**Keywords:** Pedogenesis. Sustainability. Carbon management index. Microbial communities structure.





## LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Mapa de localização dos Perfis estudados em Belém de São Francisco .....	36
Figura 2- Área do perfil 1 no município de Belém de São Francisco .....	37
Figura 3- Área do perfil 2 no município de Belém de São Francisco .....	37
Figura 4- Gráfico de relação entre o carbono lábil e o carbono orgânico total para os perfis 1 e 2 .....	54
Figura 5 - Análise de agrupamento baseado nos atributos químicos do P1 e P2 .....	55
Figura 6- Análise discriminante do P1 e P2 baseado nos atributos químicos .....	56
Figura 7- Carregamento de principais atributos químicos em fatores significantes para P1 e P2 .....	56
Figura 8- Mineralogia da Areia Grossa do P1 e P2 .....	57
Figura 9- Mineralogia da argila natural para o P1 e P2 .....	58
Figura 10- Mineralogia dos tratamentos de argila K25°, K110°, K350°, K550°, magnésio e Magnésio glicerol para os horizontes Ap do P1 e A do P2 .....	59
Figura 11- Mineralogia dos tratamentos de argila K25°, K110°, K350°, K550°, magnésio e Magnésio glicerol para os horizontes Bt do P1 e Bt do P2 .....	59
Figura 12- Mineralogia dos tratamentos de argila K25°, K110°, K350°, K550°, magnésio e Magnésio glicerol para os horizontes Cr1 do P1 e Cr2 do P2 .....	60
Figura 13- Carbono da biomassa microbiana do solo, respiração basal e quociente metabólico para o P1 e P2 .....	62
Figura 14- Análise de escala multidimensional (NMDS) para bactérias totais 16S para P1 e P2.....	64
Figura 15- Análise de escala multidimensional (NMDS) para fungos 18S para P1 e P2.....	67
Figura 16- Solo irrigado sob cultivo de coentro (P1).....	101
Figura 17- Solo não irrigado sob caatinga degradada (P2) .....	105



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Georeferenciamento dos perfis estudados em Belém de São Francisco .....	37
Tabela 2 - Atributos morfológicos dos solos estudados em Belém de São Francisco .....	45
Tabela 3 - Atributos físicos dos solos estudados em Belém de São Francisco .....	47
Tabela 4 - Atributos Químicos dos solos estudados em Belém de São Francisco .....	49
Tabela 5 - Valores semiquantitativos de óxidos determinados por FRX dos solos estudados em Belém de São Francisco .....	53
Tabela 6 - Valores das extrações seletivas de DCB e OAA dos solos estudados em Belém de São Francisco .....	52
Tabela 7 - Resultado do teste de Pairwise para 16S .....	65
Tabela 8 - Resultado do teste de Pairwise para 18S .....	68



## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	21
1.1 Hipótese.....	22
1.2 Objetivo Geral.....	22
1.3 Objetivos Específicos.....	22
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
2.1 Semiárido no Mundo.....	23
2.2 Semiárido Nordeste.....	25
2.3 Agricultura X Sustentabilidade.....	26
2.4 Irrigação no Semiárido.....	27
2.5 Irrigação X Atributos morfológicos, químicos e físicos.....	29
2.6 Irrigação X Carbono Orgânico Total (COT).....	30
2.7 Uso do solo e mineralogia da fração argila.....	32
2.8 Microbiologia X Irrigação.....	33
3.MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
3.1 Descrição da área de estudo.....	35
3.2 Seleção de perfis, descrição e amostragem.....	35
3.3 Análises Físicas.....	38
3.4 Análises Químicas.....	38
3.5 Extração Seletiva de Ferro e análise total.....	40
3.6 Análise Mineralógica.....	40
3.7 Análise Microbiológicas.....	41
3.8 Tratamento de Dados.....	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	43
4.1 Atributos morfológicos e físicos.....	43
4.2 Atributos Químicos.....	48
4.2.1 Carbono orgânico total, estoque de carbono, índice de manejo de carbono e relação do carbono ativo com o COT.....	53
4.2.2 Análise da multivariada relacionada aos atributos químicos do P1 e P2.....	54
4.3 Mineralogia.....	57
4.4 Microbiologia.....	61
4.4.1 Carbono da biomassa microbiana (C-BMS), respiração basal do solo, quociente metabólico.....	61
4.4.2 Estrutura da comunidade microbiana de bactéria total e fungo.....	63
4.5 Classificação dos solos pelo sistema brasileiro (SiBCS).....	70

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	70
REFERÊNCIAS .....	71
APÊNDICE .....	97
PERFIL 01 .....	97
PERFIL 02.....	101

## 1 INTRODUÇÃO

A irrigação das culturas agrícolas é uma prática de manejo que tem como objetivo complementar a disponibilidade da água provida naturalmente pela precipitação pluvial, disponibilizando ao solo umidade adequada para suprir as necessidades hídricas das culturas, e consequentemente contribuir para o aumento da produtividade principalmente em regiões semiáridas.

Nas regiões áridas e semiáridas, a irrigação é uma das tecnologias mais importantes para a garantia da produção agrícola. A prática desse tipo de manejo permite o aumento da produtividade das culturas e a expansão das fronteiras agrícolas para regiões áridas e semiáridas, a exemplo do Nordeste brasileiro. A inclusão de áreas (perímetros irrigados) na atividade agrícola na região semiárida do Nordeste do Brasil, também pode assegurar a sustentabilidade ambiental e viabilidade econômica da atividade agrícola.

O clima, em geral, é o fator de grande expressividade na evolução dos solos, pois é decisivo na velocidade e natureza do intemperismo das rochas. Porém, em ambientes em que a umidade é mais baixa, como semiárido, o clima vai ter uma importância mais limitada (intemperismo químico menos intenso). Nesta condição, a litologia (material de origem) passa a assumir um papel chave no conjunto de características e propriedades dos solos. Logo, os principais atributos dos solos do ambiente semiárido, principalmente os desenvolvidos de rochas cristalinas, refletem forte correlação com o material de origem e a influência do relevo. A prática da irrigação associado ao cultivo altera o fator clima, onde a adição de água participa com grande intensidade de vários processos do sistema solo, podendo contribuir, ao longo dos anos, para o aumento das taxas de intemperismo mineral e formação de novos horizontes.

Neste contexto e sabendo-se que o número de áreas áridas e semiáridas no mundo deverão aumentar em resposta ao cenário de aquecimento global, estudos específicos aos efeitos da mudança de uso da terra (irrigação e cultivo) sobre a pedogênese, dinâmica de carbono orgânico e atividade microbiana são ferramentas importantes, pois além de prever as consequências da atividade em si também contribui para predição dos efeitos das mudanças climáticas sobre diversos atributos do solo e sua pedogênese.

## **1.1 Hipótese**

A prática da irrigação por várias décadas sobre solos na região semiárida acelera a alteração de minerais primários na direção da monossilificação e contribui para o aumento da salinidade dos solos. A mudança de uso da terra (irrigação e cultivo) condicionará o predomínio de formas de carbono menos recalcitrante e a estrutura de comunidades microbianas terá uma maior similaridade em diferentes horizontes do mesmo perfil comparado ao mesmo horizonte entre os perfis avaliados.

## **1.2 Objetivo Geral**

Avaliar os atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos dos solos, e diversidade microbiana de dois perfis de solo, sob irrigação por 26 anos e sob cobertura natural, no semiárido de Pernambuco.

## **1.3 Objetivos Específicos**

- Identificar as possíveis alterações devido ao uso da irrigação e avaliar mudanças nos processos envolvidos na formação e evolução desses solos;
- Determinar a assembleia mineralógica nas frações areia e argila dos solos a serem estudados, dando ênfase à compreensão de possíveis alterações sob o efeito da irrigação associada ao cultivo;
- Calcular o índice de manejo do carbono;
- Calcular o estoque de carbono e avaliar o carbono da biomassa microbiana, respiração basal e quociente metabólico entre os perfis estudados;
- Avaliar a estrutura de comunidades dos micro-organismos (Bactéria e Fungo) em todos os horizontes nos dois perfis estudados.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Semiárido no Mundo

Abrangendo uma extensão de aproximadamente 61 milhões de km<sup>2</sup>, as zonas áridas e semiáridas representam um terço da cobertura da terra do planeta, correspondendo a 30% (PIMM, 2001; LEEMANS; KLEIDON, 2002; SACO et al., 2007). Dois grandes destaques representativos dessas áreas são os países da África e Austrália, porém a América do Sul também possui importantes áreas com essas características (REDWOOD, 2012). De acordo com Ab'Saber (1999), na América do Sul existe três grandes regiões semiáridas: a Região Guajira, na Venezuela e na Colômbia; a diagonal seca do Cone Sul, que envolve muitas nuances de aridez ao longo da Argentina, Chile, Equador; e, por fim, o Nordeste seco do Brasil, província fitogeográfica das caatingas, onde dominam temperaturas médias anuais muito elevadas e constantes.

Apesar de compreender a menor área continental do mundo, mais de 70% da terra australiana é classificada como semiárida ou árida (WOLFE, 2009). A Austrália apresenta um clima seco e pluviosidade média de 600 mm por ano, em alguns casos, como acontece em Nova Gales do Sul, região localizada no sudeste da Austrália, a precipitação é altamente variável, mas sua média anual não ultrapassa 400mm. (BUREAU OF METEOROLOGY, 2008a). A Austrália vem se destacando cada vez mais no ramo de exportação de grãos e proteína animal. Aproximadamente 65% da produção agrícola desse país é exportada, grãos (US \$ 6,0 bilhões, 12% das exportações mundiais), carne bovina (US \$ 6,8 bilhões, 17%) e lã (US \$ 2,8 bilhões, 67%) são bem representativos no comércio mundial (ABARES, 2014). Existe um grande desafio político consistente na Austrália para manter esse nível de excesso de produção e exportação, pois extremos climáticos, como secas prolongadas devido aos climas áridos e semiáridos e eventos significativos de enchentes, prejudica tanto o nível de produção quanto as escolhas de uso da terra pelos agricultores (GORNALL et al., 2010; COMMONWEALTH OF AUSTRALIA, 2014).

Especialmente nas regiões semiáridas, a África encara uma degradação significativa e contínua da terra causada pelas condições climáticas (SIVAKUMAR; STEFANSKI, 2007) e pela pressão do uso da terra (MESHESHA et al., 2012). Como resultado do manejo inadequado do uso da terra (esgotamento extensivo, desmatamento excessivo para agricultura extensiva e lenha) e sucessivos processos de erosão, a degradação da terra pode contribuir para formação de solos improdutivos (CENACCHI, 2014). Apesar de algumas regiões da África não possuir

sistemas agrícolas avançados tecnologicamente, anda assim representam uma proporção significativa do produto interno bruto (PIB), porém o estresse hídrico, aumento da temperatura e a variabilidade aumentada da chuva podem se traduzir em insegurança alimentar, conflitos sociais e pobreza para essas regiões (VÖRÖSMARTY et al., 2005). No futuro, com o aumento da temperatura, já se imagina que os impactos do aquecimento global sejam impacto negativo sobre a agricultura de subsistência em vários países africanos (VERDIN et al., 2005).

Considerado como um dos países mais populosos do mundo, a China possui um grande destaque quanto as áreas áridas e semiáridas, marcadas por uma grave degradação, principalmente na região norte (LIU et al., 2016). O noroeste da China, que é uma das regiões áridas e semiáridas de maior conhecimento mundial, está localizado em uma zona de transição climática entre as monções asiáticas e o fluxo de ar do oeste. A precipitação pluviométrica anual não ultrapassa 400mm e diminui gradualmente de leste para oeste (LU; BAI, 2006; ZHENG; ZHANG, 2008; JIANG et al., 2012; WANG et al., 2013b). Essas regiões possuem uma alta limitação de água decorrente da baixa precipitação associada com a elevada evapotranspiração (FENG et al., 2016; WANG et al., 2014).

No subcontinente indiano, 50% da extensão da área geográfica total, equivalente a aproximadamente 170 milhões de hectares, é caracterizada por clima árido e semiárido (ICRISAT, 2010). Trata-se de um país no qual sua economia é predominantemente agrária e que dos 328,7 milhões de hectares (Mha) de sua extensão territorial, 141 Mha é a área cultivada líquida restrita à agricultura, em que apenas 63 Mha ou 44% é a área líquida irrigada que produz mais de 56% do total dos grãos alimentares (FAI, 2011). O que promove a seca de grandes áreas da Índia é o atual cenário geoclimático específico (região semiárida de rocha dura com uma potencial evapotranspiração anual equivalente a 1800 mm, um índice de aridez de 0,42 e uma elevada variabilidade interanual em chuvas de monção) e por fim, o uso intensivo do recurso de água subterrânea para a agricultura (BANCO MUNDIAL, 2010).

No hemisfério sul, a Argentina desenvolve em grande parte de seu território atividades direcionadas para agricultura, pecuária e produção florestal (GRAU et al., 2005). Essas atividades trazem efeitos positivos para economia do país, porém causam impactos significativos no ambiente natural, nas águas e nos solos, aumentando a cada ano as áreas erodidas e desertificadas. As zonas áridas e semiáridas já totalizam 75% do território nacional, cerca de dois milhões de quilômetros quadrados (área maior que todo o Nordeste Brasileiro). Essas regiões abrigam mais de dez milhões de pessoas, e são responsáveis por 40% do Produto Bruto do país (GRAU et al., 2005a).

## 2.2 Semiárido Nordeste

Localizada no hemisfério sul, mais especificamente no Brasil, a região semiárida está inserida principalmente na região nordeste, cobrindo aproximadamente 982.563 km<sup>2</sup> do território do país com terras baixas e áridas em um extenso complexo de subsolo cristalino regional (SAMPAIO, 1995; SÁ; SILVA, 2010). O semiárido nordestino é destacado entre os territórios semiáridos mais densamente povoados do mundo (AB'SABER, 1999; FIGUEIRÔA et al., 2006). De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, se caracteriza por um clima Bsh (Clima quente de estepe) - Clima Semiárido quente (IBGE).

Nesses ambientes os solos se destacam por apresentar uma alta fertilidade, entretanto apresenta uma enorme quantidade de cascalhos e são bem suscetíveis a erosão (SÁ et al., 2003). Os solos que se destacam nessas áreas são os luvisolos, em que apresentam bastante cascalhos e são considerados rasos a pouco profundos ocorrendo em áreas mais baixas, vertissolos apresentando argilas expansivas e planossolos (solódicos) com alto teor de sais e que apresentam várias limitações a agricultura irrigada (EMBRAPA, 2001).

Essas áreas são caracterizadas por uma forte degradação do solo e uma cobertura vegetal reduzida, devido aos sistemas agrícolas como alta densidade de pastagem, uso de maneira descontrolada de fogo, corte indiscriminado de árvores (com objetivo de produzir madeira e carvão para fins industriais e domésticos) e tempo de pousio que não é realizado de maneira adequada, ou seja, mais curto do que o necessário para assim poder melhorar as propriedades do solo para posterior uso. (BIRD et al., 2007; LUCENA et al., 2007; SAMPAIO et al., 1993).

A produção agrícola no semiárido nordestino vem sendo limitada cada vez mais em decorrência da baixa disponibilidade de água e chuvas irregulares associadas à alta erosão do solo, baixa fertilidade do solo e altas taxas de decomposição da matéria orgânica contribuindo e caracterizando essas regiões como um bioma altamente fragilizado (AUSTIN; VIVANCO, 2006; BREMAN; KESSLER, 1997; SOLOMON et al., 2000).

A Caatinga é um grande representativo bioma brasileiro, sendo listado em quarto maior ecossistema do país. Este bioma possui uma grande extensão territorial no Nordeste do Brasil, cobrindo aproximadamente um milhão de quilômetros quadrados, em grande parte se sobrepondo à região semiárida (MENEZES et al., 2012). Cerca de mais de 20 milhões de pessoas fazem parte dessa região complexa, caracterizando-se assim como uma das regiões semiáridas mais densamente povoadas do mundo (MENEZES et al., 2012). Quase 50% dessa população estão diretamente engajadas com a produção agrícola, principalmente em pequenas fazendas de subsistência de baixa produtividade (SAMPAIO et al., 2004). Sabendo que as mudanças climáticas estão cada vez mais vulneráveis nessas áreas, as projeções indicam

possíveis aumentos de temperatura (de 2 a 4 ° C) e uma redução na precipitação (de 10 a 20%) para a região semiárida do nordeste brasileiro, com tendência à “aridização” (IPCC, 2007 a, b; MARENGO; DIAS, 2007; MARENGO et al., 2009 a, b, 2010). Dessa forma, a pecuária se destacou como o principal meio de sobrevivência da população rural. Este é o precursor da substituição da vegetação nativa por áreas de pastagem (RIBEIRO et al., 2016).

Representando uma das maiores florestas tropicais seca do mundo, a caatinga é ameaçada pela desertificação como consequência de perturbações antrópicas e alterações climáticas (ARAÚJO et al., 2008; RIBEIRO-NETO et al., 2016; SANTOS et al., 2014). Desequilíbrios antropogênicos, como o pastoreio intensivo e a movimentação pelo gado, de forma frequente e acentuada resultam na compactação dos solos, levando a menor infiltração e maiores taxas de escoamento, acarretando em uma diminuição na produtividade primária (LUDWIG et al., 2005; WILCOX et al., 2003). Vale ressaltar que a região da caatinga contém muitas terras abandonadas, porém com um grande potencial de recuperação e assim um restabelecimento da funcionalidade do ecossistema (LEAL et al., 2005).

### **2.3 Agricultura X Sustentabilidade**

Representando aproximadamente 15% do Produto Interno Bruto (PIB), o Brasil tem um representativo destaque na agricultura, bem como um papel de grande responsabilidade nos mercados globais (CEPEA / USP-CNA, 2015). Apesar de possuir regiões que tenham um grande desenvolvimento na produtividade agrícola, grandes áreas do semiárido nordestino deixam a desejar no quesito de produção (NIEUWENHUIS et al., 2006).

O sistema agrícola no nordeste trouxe como consequência um grande aumento no desmatamento da caatinga, devido à queima e a agricultura itinerante (HANSEN, 2002). Além disso, a pecuária se destacou como a principal atividade econômica desde o século XIX. Essas práticas de manejo influenciam de forma direta na diminuição à conservação da biodiversidade vegetal no bioma Caatinga (MAMEDE; ARAÚJO, 2008) e aumentam de forma significativa o risco de desertificação (VIEIRA et al., 2015).

A produção agrícola é o resultado da junção de fatores internos como genética e fatores externos, como práticas de manejo e condições ambientais. Entre os fatores ambientais, o clima possui um grande efeito que explica cerca de um terço da variabilidade da produção agrícola (LENG et al., 2016; RAY et al., 2015). Uma das principais causas no processo de mudanças climáticas em diversas partes do mundo é a ação do homem no ambiente (SILVA, 2004). A ação antropogênica é responsável pela emissão de vários componentes que contribuem para o aquecimento global. Em números representa cerca de 60% de óxido nitroso e 50% de metano,

decorrentes da agricultura (SMITH et al., 2007). Dessa forma, remediar esse impacto ambiental é imprescindível para reduzir sua contribuição para a mudança climática global. Entre as opções para encarar esse desafio, destacam-se: melhor manejo de áreas agrícolas, manejo de pastagens/melhoramento de pastagens, manejo de solos orgânicos, restauração de terras degradadas e entre outros (SMITH et al., 2007).

Em uma pesquisa consistente de simulações, Huang et al. (2015) concluíram que o atrelamento do aumento do aquecimento, o elevado crescimento populacional e a maior aridez irão contribuir de forma intensa para o risco de degradação da terra e, em uma extensão extrema, a desertificação. Além disso, as terras áridas nos países em desenvolvimento como o Brasil, tem uma maior sensibilidade às mudanças climáticas devido à pressão antropogênica e à dependência dos recursos naturais locais, com isso a pobreza tenderá a aumentar e assim pressionar as terras secas levando à erosão do solo e, eventualmente, desertificação (JIANG; HARDEE, 2011; REYNOLDS et al., 2011).

Além de impactos ambientais como à perda da biodiversidade e a desertificação, o aumento no aquecimento global associado a uma intensa seca desencadeia grandes impactos sociais que se estendem além do domínio geográfico semiárido (MEDEIROS et al., 2013). Em uma tentativa de amenizar os efeitos negativos das secas, são realizadas ações governamentais para tentar impedir episódios como o da severa seca que afetou a região durante o período 2001-2016, por exemplo, que foi a mais intensa e drástica das últimas décadas (BRITO et al., 2017), com impactos significativos para a população, bem como para atividades econômicas, com perdas estimadas de aproximadamente US \$ 6 bilhões no setor agrícola (GUTIÉRREZ et al., 2014)

## **2.4 Irrigação no Semiárido**

A irrigação é uma tecnologia que tem como objetivo garantir a produção agrícola, principalmente em regiões áridas e semiáridas, contribuindo satisfatoriamente para um elevado rendimento das culturas em comparação com a produção não irrigada (HOWELL, 2001; MACHADO et al., 2007). O grande e rápido crescimento da população mundial desencadeou a um aumento na demanda por alimentos, sendo assim com a perspectiva de atender às necessidades dessa crescente e acelerada demanda, o setor agrícola precisou encarar o desafio de encontrar novos caminhos que aumentassem a produtividade (DALIN et al., 2015). Logo, a irrigação tem se tornado uma ferramenta de forte destaque para as áreas agricultáveis agrícolas em todo o mundo, pois além de garantir um aumento na produção ainda permite o desenvolvimento agrícola em regiões com déficit pluvial (MEDEIROS et al., 2010).

No Brasil existem aproximadamente 6,95 milhões de hectares de terras irrigadas, das quais 1.171.159 (ha) estão localizados no semiárido nordestino (ANA, 2017). No território brasileiro, o setor agrícola na década de 1980 chegou a um consumo de água equivalente a 29,5 % do total (BARTH, 1987), porém nas últimas décadas ocorreu um elevado aumento chegando a 72% do total consumido pela sociedade (ANA, 2012). Além disso, estudos realizados por Alexandratos e Bruinsma (2012) indicam um aumento de 60% nas áreas irrigadas até 2050, fazendo-se necessário desenvolver técnicas que atenuem impactos ambientais causados nessas áreas para um bom desenvolvimento agrícola no futuro.

Em relação aos pequenos produtores brasileiros, a irrigação tem sido uma eficiente saída para fugir da dificuldade relacionada à escassez da água nessas regiões (BURNEY et al., 2013). No Brasil, grandes investimentos na região do nordeste foram realizados pelo governo e agências internacionais de financiamento com o objetivo de promover esquemas públicos de irrigação de pequenos proprietários. Porém, seu desempenho tem uma elevada variabilidade (GONÇALVES et al., 2015), embora ainda tenha resultados importantes para o desenvolvimento rural no semiárido nordestino brasileiro, uma região caracterizada por falta de chuvas, propensa a secas e com grandes problemas sociais. Ao fazer vários estudos e testes com várias tecnologias e arranjos diferentes em fazenda, Burney et al. (2014) observaram que intervenções no sertão direcionadas em sistemas de irrigação eficientes podem ajudar a minimizar a dependência dos sistemas de produção do grande fator clima.

Apesar de grandes resultados satisfatórios, a prática da agricultura irrigada pode ter como consequência vários problemas quando usada de maneira inadequada, como a salinização do solo (GHASSEMI et al., 1995). Isto acontece quando existem à presença de sais dissolvidos na água de irrigação que, mesmo em concentrações reduzidas, podem ser absorvidos no solo, consequentemente tornando-os salinos dentro de alguns anos. Dependendo do tipo do solo, problemas associados à grande quantidade de sais podem ser intensificados (CASSEL et al., 2015, ARAGÜÉS et al., 2014, BUI, 2013). Porém, a salinização do solo também pode ser acentuada em função da qualidade da água de irrigação, manejo, profundidade da água subterrânea, etc (RIBEIRO et al., 2003). Assim, o uso de irrigação adequada deve ser levado em consideração, uma vez que evitará problemas químicos como, por exemplo, a salinização no solo e poderá atender a demanda agrícola se considerarmos que as áreas irrigadas respondem por 40% da produção total de alimentos em apenas 20% das áreas agrícolas do mundo (TURRAL et al., 2011; WWAP, 2012).

## 2.5 Irrigação X Atributos morfológicos, químicos e físicos

O solo é um corpo natural, tridimensional que possui um sistema multifásico e complexo apresentando partículas minerais de areia, silte e argila em sua fase sólida, que quando são associadas, formam subunidades estruturais com diferentes tamanhos e propriedades, resultando em agregados (SOIL SURVEY STAFF, 1993). De forma generalizada, o tamanho do agregado, sua estabilidade, assim como a quantidade, a distribuição e o tamanho do espaço de poros entre e dentro dos agregados são características da estrutura do solo (SIX et al., 2004). Dessa forma, a estrutura do solo possui um grande destaque desempenhando uma função fundamental para diferentes processos do solo, sendo esses, o movimento da água, a transferência de calor e a aeração. Abordando de maneira pedológica, os agregados do solo estão entre os produtos mais estáveis que os processos pedogenéticos podem formar dentro de um horizonte de solo (SCHOENEBERGER et al., 2002) e que, portanto, são uma das características morfológicas mais importantes e destacadas para a gênese e classificação do solo (SIX et al., 2000). Porém, a estrutura do solo pode sofrer alterações desencadeadas por diversos fatores, muitas vezes como consequência das ações antrópicas atreladas ao uso da terra. Nesse contexto, o uso de forma intensa da prática da irrigação de solos em regiões áridas e semiáridas se sobressai como uma das mais importantes mudanças antropogênicas (HUSSAIN; HANJRA, 2004, KELLER; ROBERTS, 2004, MAGISTRO et al., 2007, POLAK; YODER, 2006). Adotando como sistema de manejo o uso da irrigação nessas regiões, a umidade do solo pode desenvolver alterações e conseqüentemente modificar diversas propriedades do solo (porosidade, estrutura, densidade e infiltração do solo) e processos (argiluviação e dissolução de elementos carbonáticos), favorecendo mudanças consideráveis no solo (SWANEPOEL et al., 2013).

Em relação aos atributos químicos, uma das grandes preocupações na agricultura irrigada em regiões com baixa pluviosidade refere-se à salinidade e a sodicidade do solo que estão se intensificando em todo o mundo devido à má gestão dos recursos hídricos e do solo (SHAHID, 2013). Estudos constantes sobre a questão da salinidade e sodicidade do solo em sistemas de irrigação sugerem práticas de manejo e medidas de correção para melhorar a rentabilidade e a sustentabilidade da agricultura irrigada (YOUNG, 1991, RHOADES et al., 1997, HERRERO et al., 2011). Outro levantamento a ser considerado, é o comportamento do fósforo no solo que também pode ser afetado pelas práticas de manejo do solo (CANELLAS et al., 2004), prejudicando sua disponibilidade às plantas. Sistemas de manejo que causam elevados distúrbios no solo podem contribuir para um alto contato dos fertilizantes com a matriz mineral do solo, dessa forma favorecendo o aumento da capacidade de adsorção de fósforo com

a síntese de compostos de baixa solubilidade e, conseqüentemente, reduzindo sua disponibilidade para as plantas. Em contra partida, manejos estratégicos podem contribuir para um aumento da matéria orgânica do solo (por exemplo, adubação orgânica) e diminuir a adsorção de fósforo, aumentando a quantidade de fósforo disponível na solução do solo (STEVENSON; COLE, 1999).

As propriedades físicas do solo configuram um importante tópico a ser estudado uma vez que influenciam nos processos químicos e biológicos do solo (KARLEN et al., 2001; DEXTER, 2004a). Distribuição do tamanho dos poros, densidade do solo, agregação e estabilidade agregada são propriedades físicas bastante significativas do solo, que em sua maioria podem ser influenciadas pela degradação da terra devido ao cultivo (CELIK, 2005). Qualquer dano à estrutura do solo é avaliado como uma forma de degradação física do solo (PRANAGAL; PODSTAWKA-CHMIELEWSKA, 2012). Essas propriedades podem ser utilizadas como indicadores da qualidade física do solo (REYNOLDS et al., 2009). Existem várias pesquisas que relatam mudanças nas propriedades do solo, porém as propriedades físicas não vêm se sobressaindo de forma esperada devido às dificuldades inerentes à medição física do solo (PAPADOPOULOS et al., 2014). A natureza e magnitude de tais mudanças podem estar correlacionadas com a duração e intensidade das práticas de manejo, como uso da irrigação em longo prazo (ZUCCA et al., 2010).

## **2.6 Irrigação X Carbono Orgânico Total (COT)**

A matéria orgânica do solo (MOS) de maneira generalizada refere-se a todo material orgânico presente no solo, incluindo organismos mortos ou vivos (ASHMAN; PURI, 2013). Em termos globais, a matéria orgânica realiza funções essenciais na ciclagem global de carbono (C) e ainda contribui potencialmente na mitigação das mudanças climáticas, ou seja, estocando o C e conseqüentemente se comportando como um redutor das emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera (STRONG et al., 1999; CHENG et al., 2009; DONG et al., 2015; BLANCO-MOURE et al., 2016). Estudos realizados comprovaram que a quantidade de C orgânico armazenado no solo é três a quatro vezes maior que a quantidade armazenada na vegetação e atmosfera terrestre (LEHMANN; KLEBER, 2015; SCHMIDT et al., 2011). Dessa forma, um crescimento anual de estoques de carbono orgânico no solo em quatro por mil (isto é, 4 ‰) nos primeiros 30cm de solo equilibraria o aumento anual de emissões antropogênicas de dióxido de carbono (DERRIEN et al., 2016; LAL et al., 2015; PAUSTIAN et al., 2016). Um questionamento chave sobre a quantidade de C orgânico encontrado no solo (ou seja, armazenamento de carbono orgânico do solo) é o período de tempo que é retido no solo (isto é,



estabilização do carbono) (HOBLEY et al., 2014). Aumentar o armazenamento e a estabilização do carbono orgânico do solo (COS) é uma um benefício em todos os aspectos, pois além da mitigação da mudança climática, o carbono orgânico do solo em maior quantidade contribui para melhorar a fertilidade do solo, a estabilidade estrutural do solo e a produtividade agrícola e, conseqüentemente, promove a segurança alimentar e nutricional (LAL et al., 2015).

O clima, o relevo e as propriedades do solo são fortes indicadores de estoques de carbono em condições diferentes de uso da terra e sistemas de manejo (DAVY; KOEN, 2013, MCLEOD et al., 2013, BADGERY et al., 2013, DALAL; MAYER, 1986, SPAIN et al., 1983, GILLMAN, 1976). A textura do solo, a concentração de ferro e alumínio e a mineralogia da argila também podem prever até que ponto o COS é mantido contra a decomposição (BALDOCK et al., 2004, BALDOCK; SKJEMSTAD, 2000). É possível que os efeitos do clima, topografia e características do solo tenham contribuído com resultados inconsistentes ao manejo observados até então, mascarando respostas a práticas de manejo em estudos baseados em pesquisas (COWIE et al., 2013; MCLEOD et al., 2013, SCHWENKE et al., 2013).

Por outro lado, a literatura avalia que a MOS em condições adequadas de manejo tende a aumentar (BANGER et al., 2009; FULTZ et al., 2013; TONG et al., 2014) e que as taxas de decomposição e acumulação são influenciadas pela distribuição das frações da matéria orgânica do solo, propriedades do solo, fatores ambientais e atividade humana (SU et al., 2006; HE et al., 2008; CHIVENGE et al., 2011; WIESMEIER et al., 2014; WIGHT et al., 2016) indicando que precisa-se de mais estudos regionais, assim como, a questão da avaliação de mudanças em longo prazo das frações da MOS, como um dos índices de estabilidade do COS sob agroecossistemas irrigados em regiões áridas e semiáridas (LI et al., 2007; TARCHOUNA et al., 2010; SONG et al., 2013).

Em relação ao manejo com irrigação, foi constatado que além de aumentar a produção agrícola em regiões áridas e semiáridas, a irrigação tem fortes efeitos tanto no COS quanto na textura, sendo considerado um manejo promissor tanto para o solo como para o agronegócio (HE et al., 2008; BHATTACHARYYA et al., 2008; OMRON et al., 2012; WIGHT; COLS, 2016; DONG et al., 2017). Por outro lado, Nunes et al. (2007) relataram uma diminuição na matéria orgânica em solos irrigados, atribuída à degradação acelerada com o aumento da atividade microbiana do solo.

A eficiência de sequestro de carbono (C) é influenciada por muitos fatores, como o clima e condições do solo (MILLER et al., 2004, CHABBI et al., 2009). Para a manutenção da fração lábil do COS é necessário climas mais frios, onde os solos têm quantidades a mais de C orgânico por causa das taxas de mineralização mais lentas (NIANPENG et al., 2013; GHOSH et al.,

2016). Dessa forma, se faz necessário identificar e adotar as melhores práticas de manejo para manter ou aumentar os níveis de COS, especialmente em regiões onde os sistemas de produção possuem grandes déficits relacionados à fertilidade do solo (MANNA et al., 2013, NIANPENG et al., 2013). Os reservatórios de carbono, como C orgânico dissolvido, carbono da biomassa microbiana e C oxidável por  $\text{KMnO}_4$  se destacaram de forma curiosa devido à sua sensibilidade às práticas de manejo agrícola (CULMAN et al., 2012, LUCAS; WEIL, 2012). Sugere-se que as concentrações orgânicas de carbono orgânico lábil e de carbono oxidável por  $\text{KMnO}_4$  dentro de macro e microagregados estáveis à água são indicadores mais sensíveis do que o COS (MELERO et al., 2009, PLAZA-BONILLA et al., 2014). A labilidade é a razão de C lábil para C não-lábil. Blair et al. (1995) propuseram o C lábil como oxidável em soluções de  $\text{KMnO}_4$  333mM e o índice de manejo de carbono (IMC), que depende diretamente da labilidade, tem sido comumente utilizado em avaliações de qualidade do solo. O IMC é parâmetro criterioso para avaliar o impacto de sistemas de manejo de longo prazo no equilíbrio solo-planta-atmosfera (DIEKOW et al., 2005).

Frações de matéria orgânica lábeis são utilizadas como indicadores de qualidade do solo porque são consideradas mais sensíveis a mudanças do que os níveis totais de C e N de todo o solo (GREGORICH et al., 1994; HAYNES, 2000). Geralmente, frações lábeis da matéria orgânica representam biologicamente orgânicos ativos do solo que pode ser facilmente decomposto e mineralizado, e assim estas frações representam um papel pequeno, mas crítico, na mediação da ciclagem C e N (HAYNES, 2005). Por exemplo, o C ativo foi proposto para ser a fração ativa de matéria orgânica do solo, porque serve como um alimento prontamente disponível e fonte de energia para a comunidade microbiana do solo (WEIL et al., 2003; CULMAN et al., 2012).

## **2.7 Uso do solo e mineralogia da fração argila**

Os argilominerais são componentes-chave nos ecossistemas do solo, estando envolvidos na formação da estrutura do solo e na capacidade de troca catiônica do solo (CTC) através da interação com a matéria orgânica do solo. Sendo assim, os minerais do solo são fundamentais na determinação das funções do solo e dos serviços ecossistêmicos (CÉBRON et al., 2015; OWLIAIE et al., 2006; VELDE;; MEUNIER, 2008).

É importante ressaltar que, por muito tempo, os minerais de argila nos solos eram considerados estáveis ao longo das escalas do tempo do século ao milênio. Porém, os recentes avanços na difração de raios X (DRX), em combinação com os estudos de cronossequências do solo (RUFFELL; WILTSHIRE, 2004; VIENNET et al., 2015), experimentos controlados

(RAMIREZ-PÉREZ et al., 2013; SAYEN; GUILLON, 2014) e experimentos de campo (BECK et al., 2014, MANHAES et al., 2002) indicam que as estruturas cristalográficas e os tipos de minerais argilosos podem sofrer modificações e transformações espontâneas com mudanças nas condições ambientais.

As propriedades minerais da argila estão associadas com várias funções do solo como, retenção de água e nutrientes, atenuação de contaminantes, armazenamento de carbono, e manutenção da estrutura do solo (SCHROEDER et al., 2015). No entanto, existe uma grande escassez de estudos que abordam como a estrutura mineral da argila pode mudar com o uso da terra por longos períodos de tempo (VELDE; PECK, 2002). Assim, todo o material de solos de experimentos de longo prazo fornece um recurso valioso, permitindo que as mudanças sejam estudadas e analisadas com conhecimento das práticas de manejo por períodos relativamente longos (VELDE; PECK, 2002). Além disso, com o avanço de técnicas de difração de raios-X (XRD), como a modelagem de decomposição, garantem uma maior compreensão dos perfis de DRX, permitindo uma identificação mais coerente das diferentes fases da fração argila (MATHE et al., 2007, EGLI et al., 2007).

Uma visão geral aceita na ciência do solo é que a mineralogia do solo é uma propriedade particular, ditada pelos efeitos associados dos fatores de formação do solo e pouco afetada pelo manejo (PALM et al., 2007, BRADY; WEIL, 2008). Sabe-se que as atividades antropogênicas, como o plantio direto e a irrigação, contribuem fortemente para a dispersão da argila (NGUYEN et al., 2009), que possui grande sensibilidade para prever a suscetibilidade à degradação do solo (NGUETNKAM; DULTZ, 2014). Vários fatores influenciam a dispersão da argila pela água que incluem a natureza do solo, vegetação e práticas de manejo. Assim, o comportamento de dispersão da fração argila é considerado um importante processo que afeta diretamente a estabilidade estrutural em várias áreas (SHAINBERG; LETEY, 1984; NGUETNKAM; DULTZ, 2014).

## **2.8 Microbiologia X Irrigação**

A comunidade microbiana do solo faz parte de várias funções do ecossistema, como a ciclagem de nutrientes, mineralização, imobilização e a decomposição da matéria orgânica (SCHIMEL, 1995; SOWERBYA et al., 2005; KASCHUK et al., 2011; ZORNOZA et al., 2015). Além disso, as propriedades microbianas do solo, pela sua grande sensibilidade, podem atuar como indicadores de alerta precoce de mudanças nos ecossistemas (NANNIPIERI et al., 1990; BASTIDA et al., 2008a; TEJADA; BENÍTEZ, 2014, ZORNOZA et al., 2015). Seu elevado potencial para rápido desenvolvimento significa que a comunidade microbiana é um

componente mais reativo de um ecossistema terrestre ao estresse externo comparado às plantas e animais (PANIKOV, 1999). O estudo de várias propriedades biológicas e bioquímicas é frequentemente solicitado, pois, por serem muito responsivas, elas atuam como indicadores de perturbação do solo e fornecem informações imediatas e concretas sobre pequenas mudanças que ocorrem no solo (DICK; TABATABAI, 1993; ROS et al., 2003). Há evidências crescentes e consistentes de que a atividade microbiana tem uma ligação direta na estabilidade e fertilidade dos ecossistemas, sendo os parâmetros microbiológicos indicadores sensíveis tanto da resposta dos ecossistemas aos estresses, como a seca, quanto sua recuperação (SMITH et al., 1993; ROS et al., 2003).

A biomassa microbiana do solo (BMS) corresponde todos os organismos do solo com um volume inferior a  $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$ , com exceção dos tecidos vivos da planta, e dessa forma pode ser analisada como a parte viva da matéria orgânica do solo (BROOKES, 2001). Os efeitos do uso da terra na biomassa microbiana do solo e na estrutura da comunidade são observados especialmente na camada superficial do solo. Vários estudos mostraram que a biomassa microbiana diminui com a profundidade do solo (EKEULUND et al., 2001; TAYLOR et al., 2002) o que provavelmente está associado à menor disponibilidade de MOS nos horizontes mais profundos do solo (SIX et al., 2006).

A grande diversidade de micro-organismos presentes no solo faz com que esse ecossistema possua várias estruturas de comunidades microbianas que tendem a ser controladas por propriedades do solo como: material de origem, granulometria, características químicas, saturação com água, quantidade de matéria orgânica e também pelo tipo de vegetação presente (AGNELLI et al., 2004; SESSITSCH et al., 2001). Sendo assim, com o intuito de abrir essa “caixa preta” que são os estudos das estruturas das comunidades microbianas, técnicas moleculares foram desenvolvidas (ASHER et al., 2010). A técnica de DGGE (Eletroforese em Gel de Gradiente Desnaturante) é utilizada com o objetivo de ampliar a caracterização da estrutura dessas comunidades (AGNELLI et al., 2004).

Abordando o comportamento de comunidade microbiana em relação ao manejo, a irrigação de maneira inadequada pode proporcionar um aumento da mineralização e respiração do solo, que conseqüentemente reduz a quantidade do carbono orgânica e nutriente do solo causando repercussões no ambiente devido à emissão de CO<sub>2</sub> e à lixiviação de nitrato (MIKHA et al., 2005, MILLER et al., 2005). A irrigação é capaz de influenciar a dinâmica dos microrganismos do solo, em termos de mobilidade, crescimento, absorção de nutrientes e respiração, podendo afetar fortemente as taxas de mineralização de N e C e conseqüentemente a qualidade do solo (KRUSE, 1986, GRAF et al., 2014, SOFO et al., 2014), porém vale ressaltar

que estudos relacionados à esse tipo de manejo, ou seja, irrigação são muito escassos para discussão desse estudo.

### **3.MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 Descrição da área de estudo**

A área escolhida para a realização da pesquisa foi o Perímetro Irrigado Manga de Baixo, inserido no município de Belém de São Francisco, Pernambuco localizado na mesorregião do São Francisco e na Microrregião Itaparica, limitando-se a Norte com o município de Salgueiro, a Sul com a margem esquerda do Rio São Francisco, a Leste com Itacuruba e Carnaubeira da Penha, a Oeste com Cabrobó. A área municipal ocupa 1835 km<sup>2</sup> e representa 1,86% do Estado de Pernambuco (CPRM, 2005).

A área de estudo está inserida na unidade geoambiental da Depressão Sertaneja, que representa a paisagem típica do semiárido nordestino, caracterizada por uma superfície de pediplanação, relevo predominantemente suave ondulado, cortada por vales estreitos, com vertentes dissecadas. Elevações residuais, cristas e/ou outeiros pontuam a linha do horizonte. Esses relevos isolados testemunham os ciclos intensos de erosão que atingiram grande parte do sertão nordestino. A vegetação é basicamente composta por *Caatinga Hiperxerófila* com trechos de *Floresta Caducifólia*. O clima é semiárido, com chuvas de verão. O período chuvoso se inicia em novembro com término em abril. A precipitação pluvial média anual é de 430 mm (CPRM, 2005).

Litologicamente, a área estudada é constituída por rochas compostas de uma associação granítico-migmatítica que é composta por biotita ortognaisses tonalíticos a granodioríticos, leucocráticos de cor cinza, migmatitizados e migmatitos com mesossoma quartzo diorítico/tonalítico a anfibólio e/ou biotita, além de porções anfibolíticas. Apresenta ainda em sua composição ortognaisses metaluminosos a peraluminosos leucocráticos de granulação fina a grossa, exibindo-se em alguns casos migmatitizados, bem como, augen gnaises metaluminosos. Além disso, exibem-se neste Complexo, relíquias de rochas paraderivadas do Complexo Cabrobó, tais como: quartzitos, mármore e rochas cálcio-silicáticas (ARAÚJO FILHO et al., 2000; JACOMINE, 1972).

#### **3.2 Seleção de perfis, descrição e amostragem**

A seleção da área (Figura 1) a ser estudada foi baseada nas informações obtidas pela EMBRAPA Solos e visita exploratória de campo, com o objetivo de obter duas áreas bem representativas para o estudo. Desse modo, a escolha dos dois perfis foi realizada levando em consideração quatro características: área irrigada com forte influência da água; relevo plano; área cultivada; e com material de origem anfibolito, representando o perfil 1 (Figura 2 da área do local) e área não irrigada, ou seja, sem interferência da água exceto da precipitação; área representativa do perímetro; área sem nenhum tipo de cultivo; relevo plano; e com material de origem anfibolito, representando o perfil 2 (Figura 3).

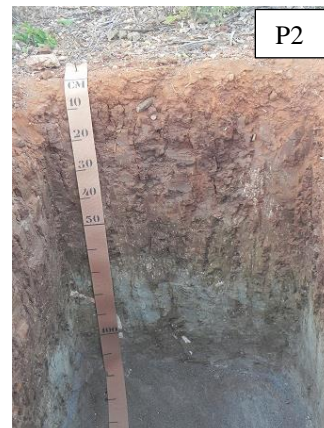
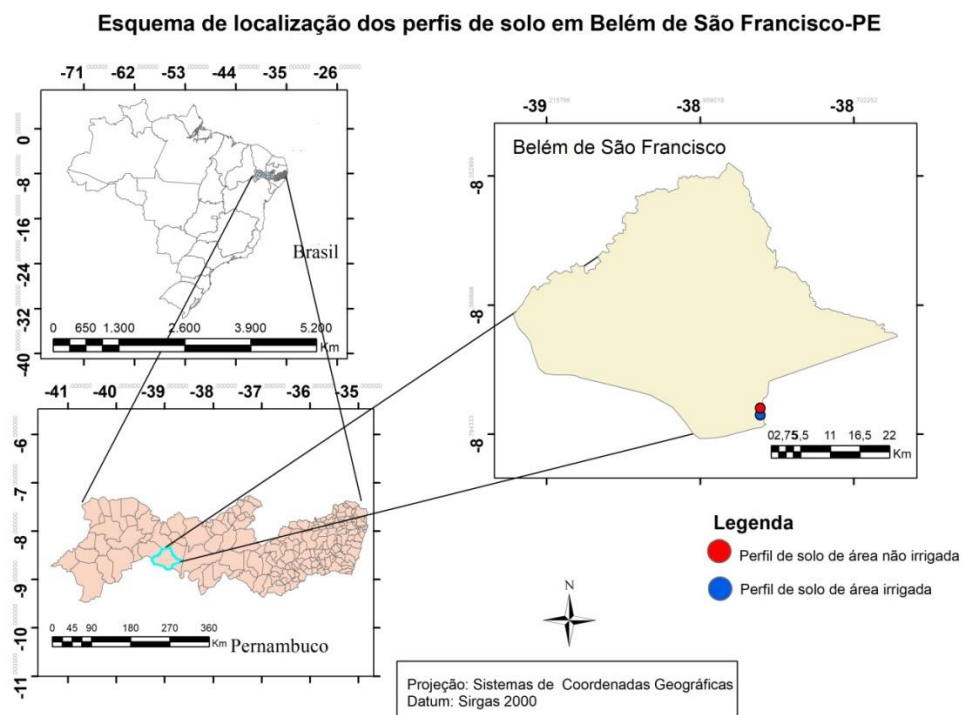


Figura 1 - Localização dos pontos estudados (P1 e P2) no município de Belém de São Francisco - PE.

Fonte : ArcGis 10.4



Figura 2. Área do perfil 1 irrigado sob cultivo de coentro



Figura 3. Área do perfil 1 irrigado caatinga degradada

A abertura de um dos perfis ocorreu ao longo do perímetro irrigado manga de baixo e o outro em uma área fora do perímetro, com as seguintes identificações: P1 - Perfil Irrigado; P2 - Perfil Não irrigado (Tabela 1). O perfil 1 tem um histórico de irrigação de 26 anos, com 1530 mm de água por ano (430mm da precipitação pluviométrica local + 1100mm da água de irrigação), irrigando a área 1 hora por dia com irrigação por aspersão. Porém acontece dessa área permanecer até um ano sem irrigação, segundo os trabalhadores do local. Em relação ao histórico de cultivo da área, iniciou com plantio de cebola e pimentão, anos posteriores trouxeram feijão, milho, coentro, banana, melão e melancia. A adubação era feita de modo 6:24:12 (NPK) e o uso de ureia mais sulfato de potássio. O perfil 2 trata-se de uma área de caatinga degradada sem nenhuma ação antrópica, com precipitação pluviométrica de 430mm por ano.

Os perfis 1 e 2 foram descritos morfologicamente de acordo com Santos et al. (2015).

Tabela 1 - Georeferenciamento dos perfis estudados no município de Belém de São Francisco -PE

Perfil	Coordenadas -GPS	Altitude (m)
P1 Irrigado sob Cultivo	08°45' 07,0" S / 38° 51' 30,0" W	314
P2 Não irrigado sob caatinga degradada	08° 44' 26,1" S / 38° 51' 29,9" W	324

Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas de todos os horizontes para análises laboratoriais. As amostras coletadas em campo foram secas ao ar, destorroadas,

passadas em peneiras com malha de 2 mm para obtenção da fração terra fina seca ao ar (TFSA). As frações cascalho (2 a 20 mm) e calhaus (>20 mm) foram tratadas com NaOH a 0,1 mol L<sup>-1</sup> em recipientes plásticos por 24 horas, sendo lavadas em seguida com água corrente, secas em estufa, fracionadas e pesadas para determinação percentual de sua massa em relação a massa total do solo (EMBRAPA, 2011). Foram coletadas também amostras para estudos microbiológicos que foram mantidas sob refrigeração. As amostras de densidade do solo foram coletadas de duas formas: anel volumétrico e torrão.

Antes das análises preestabelecidas, as amostras foram submetidas à extração da pasta saturada, e caso os solos possuísem valores da CE  $\geq 4$  dS m<sup>-1</sup> seriam submetidas à lavagem com etanol à 60% para fins de eliminação dos sais até o teste de nitrato de prata (AgNO<sub>3</sub> 0,05M) indicar ausência de cloreto (RICHARDS, 1954).

A classificação taxonômica dos solos foi realizada de acordo com os critérios estabelecidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013).

### 3.3 Análises Físicas

Para a caracterização, foram realizadas quatro análises, sendo elas: a realização da análise granulométrica (determinação dos teores de argila, silte e areia) o método do hidrômetro (GEE; BAUDER, 1986) foi realizado, no qual foi utilizado o dispersante químico hexametáfosfato a 1 molL<sup>-1</sup>. As amostras passaram 16 horas em agitação (dispersão física) no agitador tipo Wagner.

A fração areia foi fracionada em cinco frações: areia muito grossa (2,00-1,00 mm), areia grossa (1,00 - 0,50 mm); areia média (0,50-0,210 mm); areia fina (0,210 -0,10 mm) e areia muito fina (0,10-0,05 mm).

A fração argila, depois de realizada a medição com o hidrômetro com 24 horas foi separada com finalidade para estudos mineralógicos.

Também foi realizada a argila dispersa em água (ADA) em que se repetiu o mesmo procedimento da granulometria, substituindo o dispersante químico por água destilada.

A densidade do solo foi realizada pelo método do anel volumétrico e do torrão parafinado (EMBRAPA, 2011) e densidade de partículas pelo método do balão volumétrico (FLINT; FLINT, 2002). A partir dos resultados obtidos foram calculados o grau de floculação, relação silte/argila e a porosidade total, conforme EMBRAPA (2011).

### 3.4 Análises Químicas



As análises químicas foram realizadas conforme os métodos da EMBRAPA (1997, 2009) sendo estes: determinação de pH em água e KCl 1 mol L<sup>-1</sup> (relação solo/solução de 1:2,5); Acidez potencial pelo método de acetato de cálcio 1 mol L<sup>-1</sup> e dosagem por titulação; Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> trocáveis extraídos por KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. O cálcio e magnésio foram dosados por absorção atômica e o alumínio por titulação; Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> trocáveis foram extraídos por Mehlich 1 e dosados por fotômetro de chama; O fósforo disponível foi extraído com solução de Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 mol L<sup>-1</sup>) e dosados por colorimetria; Carbono orgânico total por via úmida foi realizado pelo método adaptado de Yeomans e Bremner (1988). A partir dos resultados de carbono orgânico total foi calculado o estoque de carbono. Para área de referência (P2) o estoque foi calculado de acordo com Veldkamp (1994) pela fórmula [E= COT x h (espessura do horizonte em estudo) x D<sub>s</sub>/ 10 ] em Mg.ha<sup>-1</sup>. Para a área com o cultivo associada a irrigação (P1), o estoque é realizado com base na correção de Carvalho et al. (2009), sendo a equação:

$$\text{EstC} = C_s * D_s * (D_{\text{ref}}/D_s * e) / 10 \quad (1)$$

Em que:

EstC= estoque de C orgânico em determinada profundidade (Mg.ha<sup>-1</sup>)

C<sub>s</sub> = teor de C orgânico total na profundidade amostrada (g.kg<sup>-1</sup>)

D<sub>s</sub>= densidade aparente do solo na profundidade amostrada (kg.dm<sup>-3</sup>)

D<sub>ref</sub> = densidade do solo para profundidade amostrada na área de referência (kg.dm<sup>-3</sup>)

e = espessura da camada considerada (cm).

O índice de manejo do carbono (IMC) também foi calculado de acordo com Blair et al (1995), com os valores do índice de compartimento de carbono (ICC), índice de labilidade (IL) e a labilidade (L), que são obtidos através das seguintes fórmulas:

1- Carbono não lábil (C<sub>NL</sub>)

$$\text{COT} = C_L + C_{NL}$$

COT = Carbono orgânico total

C<sub>L</sub> = Carbono Lábil

C<sub>NL</sub> = Carbono não Lábil

2- Índice de Compartimento de Carbono de Carbono (ICC)

$$\text{ICC} = \text{COT}_{\text{ÁREA CULTIVADA}} / \text{COT}_{\text{ÁREA DE REFERÊNCIA}}$$

3- Labilidade do Carbono (L)

$$L = C_L / C_{NL}$$

4- Índice de Labilidade (IL)

$$\text{IL} = L_{\text{ÁREA CULTIVADA}} / L_{\text{ÁREA DE REFERÊNCIA}}$$

### 5- Índice de Manejo do Carbono (IMC)

$$\text{IMC (\%)} = \text{ICC} \times \text{IL} \times 100$$

Valores de IMC menores que 100 % são indicativos do impacto negativo das práticas de manejo sobre os teores de matéria orgânica do solo e qualidade do solo.

### 3.5 Extração Seletiva de Ferro e análise total

Para determinação dos teores e a composição química dos óxidos de Fe de baixa cristalinidade e óxidos de Fe de alta cristalinidade, o Fe livre foi determinado na TFSA após 3 extrações sucessivas com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio ( $\text{Fe}_d$ ) (MEHRA; JACKSON, 1960) e formas de baixa cristalinidade após única extração com oxalato ácido de amônio ( $\text{Fe}_o$ ) (MCKEAGUE; DAY, 1966). Os teores de Fe obtidos foram expressos na forma de óxidos. A partir dos resultados dos teores de Fe, foi calculado o índice que infere o grau de cristalinidade dos óxidos presentes nas amostras através da relação  $\text{Fe}_o/\text{Fe}_d$ .

Com o objetivo de avaliar a evolução geoquímica e de intemperismo, foi realizada a análise química total dos elementos Si, Al, Fe, Ca, Mg, K, Na, P, Ti e Zr nas amostras de TFSA (passadas em peneiras de 100 mesh), por meio de espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX). O índice de intensidade de intemperismo (WIS) foi calculado de acordo com método proposto por Meunier et al. (2013).

### 3.6 Análise Mineralógica

A composição mineralógica das frações areia (fina e grossa) e argila foram analisadas. As frações areia grossa e areia fina foram analisadas por difratometria de raios X na forma de pó não orientado, operando com radiação de  $\text{Cu } \alpha$ , com velocidade de  $1^\circ \text{ min } 2\theta$ , registrando amplitude de  $5^\circ$  a  $70^\circ$  ( $2\theta$ ).

A frações argila depois de separadas por meio da decantação secaram em estufa a  $60^\circ\text{C}$  e foram maceradas em almofariz de ágata passando por peneira de 100 mesh. Em seguida foi realizado pré-tratamentos nas amostras com finalidade de eliminar os agentes cimentantes como óxidos de ferro, utilizando ditionito-citrato- bicarbonato (DCB), respectivamente (JACKSON, 1975).

Para identificar a presença de minerais expansíveis, as argilas foram saturadas com  $\text{Mg}^{2+}$ , e em seguida solvatadas com glicerol a 30% em lâminas de vidro, estas preparadas através do método da sedimentação da argila. A saturação com  $\text{K}^+$  foi feita em temperatura ambiente

(25° C) e as lâminas foram preparadas e analisadas a temperaturas de 25°C; 110°C; 350°C e 550°C com o objetivo de diferenciar os minerais presentes. A composição mineralógica dessas frações foi determinada por difratometria de raios X (DRX). (JACKSON, 1975).

Os critérios empregados para interpretação dos difratogramas e identificação dos minerais constituintes da fração areia e argila foram baseados no espaçamento interplanar (d) e no comportamento dos picos de difração frente aos tratamentos de saturação e térmicos empregados, conforme apresentado por Jackson (1975), Brown & Brindley (1980) e Moore & Reynolds (1989).

### **3.7 Análise Microbiológicas**

As análises microbiológicas foram realizadas em todos os horizontes com três repetições para cada e mantidas sob refrigeração até serem feitas as seguintes determinações: respiração basal do solo (RBS), carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) e o quociente metabólico ( $qCO_2$ ) obtido pela razão entre a respiração basal do solo por unidade de CBMS (SILVA et al., 2007). A biomassa microbiana foi determinada pelo método da irradiação-extração de acordo com Mendonça & Matos (2005), adaptado de Islam e Well (1998) e Brookes et al. (1982), o qual tem como princípio o rompimento celular por meio da utilização de energia eletromagnética, liberando os compostos intracelulares para posterior extração e quantificação do carbono e nitrogênio. A diferença entre as quantidades de C das amostras irradiadas e não irradiadas resulta no C da biomassa microbiana. A atividade microbiana do solo será determinada através da respiração do solo de acordo com o método proposto por Mendonça e Matos (2005) em que as amostras do solo foram incubadas com a solução de NaOH a 0,5 mol L<sup>-1</sup> em recipiente hermeticamente fechado a 25 °C. Após sete dias, o recipiente foi aberto e pipetados 10 mL da solução de NaOH incubada em erlenmeyer, adicionando-se em seguida 10 mL de cloreto de bário a 0,05 mol L<sup>-1</sup>. A solução do erlenmeyer foi titulada com HCl a 0,25 mol L<sup>-1</sup> após a adição do indicador fenolftaleína.

Para determinar a estrutura e a diversidade microbiana total presente nos solos a técnica molecular de DGGE (Eletroforese em Gel de Gradiente Desnaturante) foi aplicada com base em (MUYZER et al., 1993). Para sua realização será necessário a extração de DNA total do solo com o kit comercial PowerSoil DNA Isolation (MoBio, Carlsbad, EUA). O DNA foi extraído utilizando-se 0,5 g de cada solo com o Kit DNeasy PowerSoil Kit (QIAGEN Laboratories, Carlsbad, CA, USA), de acordo com as instruções do fabricante. Para observar a integridade do DNA e quantificá-lo, uma alíquota de 5µL foi submetida à eletroforese em gel

de agarose 1 % em tampão TAE 1x (Tris, Ácido acético, EDTA) adicionado ao corante Sybr® Green (Life Technologies, Carlsbad, Estados Unidos). Como padrão molecular, foi utilizado 2µL de Low Mass DNA Ladder (Invitrogen Technology). O gel foi submetido a um campo eletroforético de 80 V por 30 minutos e fotografados sob luz ultravioleta usando um transiluminador UV E-BOX VX2.

Inicialmente o DNA extraído das amostras de solo foram submetidos à amplificação com primers específicos. O número de cópias dos genes rRNA 16S e região ITS nas amostras dos dois perfis foi determinada por PCR quantitativo (qPCR) que foram realizadas em termociclador RotorGene 6000 (Cobertt Research, Austrália). As amplificações da região V3 do gene rRNA 16S de bactérias foi feita com iniciadores 341f (5' -CCT ACG GGA GGC AGC AG-3') e 518r (5' -ATT ACC CGC GCT GCT GG-3') (MUYZER et al., 1993). Para amplificações da região ITS1 para fungos, foram utilizados os iniciadores ITS1f (5'-TCC GTA GGT GAA CCT GCG G-3') e 5.8S (5'-CGC TGC GTT CTT CAT CG-3') de acordo com Fierer e colaboradores (2005).

Os produtos de PCR foram verificados em gel de agarose 1%. As análises por DGGE foram realizadas no sistema de eletroforese vertical DCode (BioRad). Para esta análise, foram preparados géis de poliacrilamida 8% (w/v), com gradiente desnaturante, variável de acordo com o gene avaliado, sendo seguidos os protocolos descritos na literatura. As soluções estoque foram 0 e 100 % desnaturantes, onde 100 % de desnaturação consistiu na concentração de 7 M de ureia e 40 % de formamida. Os géis foram submetidos à eletroforese por 3 horas a 200 Volts com temperatura de 60°C. Após eletroforese, o gel foi imerso em uma solução de 10 % de ácido acético glacial por 15 minutos. Em seguida, o gel foi lavado três vezes com água destilada, imerso em solução de metanol 50 % por 15 minutos, lavado três vezes com água destilada e foram corados com SYBR-gold (Invitrogen, Breda, The Netherlands) em TAE 0,5 x no escuro por 120 minutos e posteriormente fotografados sob a luz ultravioleta. A similaridade entre as estruturas de comunidades dos dois grupos de micro-organismos foi determinada com base na presença ou ausência de amplicons detectados após o DGGE. Os géis foram analisados utilizando o programa GelJV2 para determinação da riqueza de amplicons. O índice de similaridade foi obtido pela análise de similaridade (ANOSIM). Esta análise teve como objetivo testar se houve diferença significativa entre os diferentes horizontes (CLARKE, 1993).

### **3.8 Tratamento de Dados**

Para as variáveis microbiológicas como respiração basal, C-BMS,  $qCO_2$  as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5%. O DGGE, por sua vez, pelo teste de Pairwise ( $P < 0,1$ ) (ANOSIM).

Atributos químicos ( $pH_{(H_2O)}$ ,  $pH_{(KCl)}$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Al^{+3}$ ,  $H+Al$ ,  $CTC_{(e)}$ ,  $CTC_{(p)}$ , At. Arg., V(%), m(%), PST(%), P, C.O. e C.E.) foram utilizados nas análises estatísticas multivariadas através do software estatístico (PAST Paleontological Statistics 3.0, Oyvind Hammer, Oslo, Norway) de acordo com o método de Ward (Ward, 1963). A análise das componentes principais foi utilizada para determinar os atributos químicos possivelmente mais afetados pelo manejo e que conseqüentemente contribuíram para a diferenciação entre o solo cultivado (Perfil 1) e o não cultivado (Perfil 2). Apenas os fatores com “Eigenvalues” maiores que 1 foram considerados.

A análise de agrupamento foi desenvolvida utilizando a “Euclidean distance” para agrupar os horizontes de acordo com as similaridades de seus atributos químicos. A análise discriminante com 95% de acurácia foi utilizada como um complemento da análise de agrupamento para melhor entender como ocorre a distribuição dos grupos formados pelos horizontes do perfil 1 e 2. Também foi determinada a distribuição dos atributos químicos em relação aos fatores significantes para os perfis cultivados e não cultivados.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **4.1 Atributos morfológicos e físicos**

As descrições dos atributos morfológicos dos Luvisolos irrigado e não irrigado encontram-se na Tabela 2.

Os perfis 1 e 2 não são tão profundos, características essas comuns aos Luvisolos da região semiárida nordestina (OLIVEIRA et al., 2004).

No P1 os horizontes Ap, BA e Bt, corresponderam a coloração bruno- avermelhado-escuro e o horizonte C apresentou uma coloração variegada composta por bruno-avermelhado-escuro e bruno. Já o P2 em condição seca, o horizonte A apresenta coloração vermelha, o horizonte Bt, BC e C coloração bruno-avermelhado. Em condição úmida o P2 apresenta coloração igual ao P1, bruno-avermelhado-escuro, com exceção do horizonte C que apresenta coloração bruno-avermelhado. A cor é uma propriedade física que pode nos fornecer diversas informações sobre o solo. A variação da cor pode ser uma consequência da mudança de relevo, vegetação, profundidade, clima, aeração, material de origem, grau de intemperismo,

mineralogia e concentração de matéria orgânica. Nesse contexto, a análise da cor pode ser utilizada para obter informações sobre as propriedades do solo e do ambiente, na classificação dos solos e diferenciação dos horizontes (FERNANDEZ; SCHULZE, 1992; SCHAETZL; ANDERSON, 2005). Nesse caso particular, P1 e P2, a mineralogia contribuiu para essa forte coloração vermelha com a presença da hematita. Mesmo que em baixas concentrações, os óxidos de ferro exercem grande influência nas propriedades dos solos, principalmente na cor (SCHWERTMANN, 2008). A presença desses minerais pode mascarar a influência de outros constituintes sobre a cor do solo (STONER; BAUMGARDNER, 1981). O P1 ele é mais amarelado que o P2 indicando que pode estar ocorrendo um início do processo de xantização. O processo bioquímico de xantização é discutido em Schwertmann (1971); Torrent et al. (1987); Bremer (1995) e Cornell e Schwertmann (2003). Segundo esses autores, a dissolução da hematita acontece pela presença de matéria orgânica lábil, que limita formação de hematita ou leva à oxidação microbiana intensificada (respiração de ferro). Como resultado, a goethita é relativamente acumulada no solo.

Em relação ao grau de desenvolvimento textural, o horizonte Ap do P1 apresenta estrutura de fraco a moderada, pequena a média com estrutura granular e bloco subangular. O horizonte A do P2 apresenta estrutura também de fraco a moderada, pequena a média, porém só com a presença de blocos subangulares. No P1 os horizontes BA e Bt apresentam estrutura de fraco a moderada de pequena a grande com blocos angular, subangular e estrutura prismática. O horizonte BC desse perfil também varia de fraco a moderada de média a grande, porém só apresenta blocos subangulares. No P2 os horizontes Bt e BC, apresentam estrutura de forte a moderada de pequena a grande com blocos angulares, subangulares e estrutura prismática. Por fim o horizonte C do P2 apresenta estrutura de fraco a moderada pequena a grande com blocos angulares, subangulares, e estrutura prismática.

Tabela 2 - Atributos morfológicos do solo irrigado (P1) e não irrigado (P2) estudados no município de Belém de São Francisco - PE

Horizontes		Cor		Mosq.	Textura	Estrutura
Símb.	Prof. (cm)	Seca	Úmida			
<b>P1 - LUVISSOLO CRÔMICO Órtico Vertissólico</b>						
Ap	0-9	2,5 YR 3/3	2,5 YR 3/3	-	F-Arg	bl.sb.méd e peq., gran, peq. e méd., fraco e mod.
BA	9-22	-	2,5 YR 3/3	-	M-A	bl.sb, bl.ag.méd e gr., pris, peq.e méd. fr e mod, slick.
Btv	22-45	-	2,5 YR 3/3	-	M-A	bl. ag, bl sb.méd e gr., pris, peq. e méd. fr e mod, slick.
BCv	45-60	-	2,5 YR 3/3	-	F	bl.sb. méd e gr., fraco e mod.
Cr1	60-78	-	-	-	-	-
Cr2	78-105 <sup>+</sup>	-	-	-	-	-
<b>P2 - LUVISSOLO CRÔMICO Órtico sódico vertissólico sálico</b>						
A	0-12	2,5 YR 5/6	2,5 YR 3/4	-	F-Arg.Ar	bl sb., pq. e méd, fr e mod.
Btvnz	12-45	2,5 YR 4/4	2,5 YR 3/4	-	M-A	bl. sb e ang. méd e gr.,pris, peq e méd, mod, slick
BCvnz	45-60	2,5 YR 4/4	2,5 YR 3/4	10YR 6/4	M-A	bl. sb e ag, méd e gr.,pris, peq e méd.,fr , slick
Cnz	60-71	5 YR 5/4	5 YR 4/4	10 YR 6/4	F-Arg	bl. sb e ag, méd e gr.,pris, peq e méd.,fr , slick
Crnz	71-110 <sup>+</sup>	-	-	-	-	-

Símb.) - Símbolo; (Prof) - Profundidade; (Mosq) - Mosqueados; (Dif)- Difuso; (A-S) - Argilossiltosa; (M-A) - Muito argilosa; (Arg) - argilosa; (F)-Franca; (F-Arg.-S)-Franco-argilossiltosa; (F-Are)- Francoarenosa; (F- Arg.) - Francoargilosa;(F-Arg.Ar) - Franco argilo-arenosa; (mt. peq.) - Muito pequena; (gr) - Grande; (bl. Sb. Ag.) - Bloco Sub-angular; (bl. Ag.) - Bloco angular; (méd) - Média; (Peg) - Pegajosa; (md) - moderada; (Ft) - forte;( Fr)- Fraca; (Pris) - Prismática; (Cun) - Cuneiforme; (Slick)- Slickensinde; (pls) - Plástica; (Md) - moderada; (Ond) - Ondular; (pou.) - Pouca; (peq.) - Pequena; (dis.) - Distinta; (com.) - Comum; (méd.)- média; ( abn) - Abundante; (proe) - Proeminente; (ext) - Extremamente; (gr) - grande; (dif) - difuso; (lig.) - ligeiramente; (Gran)-Granular.

De forma geral, as estruturas nos dois perfis são bem definidas, com pouco material solto que é uma consequência, da presença de agentes cimentantes como argilominerais 2:1 e presença de óxidos de ferro que estão relacionados com a estruturação e agregação do solo (CORNELL; SCHWERTMANN, 1996, SCHWERTMANN; CORNELL, 2007b), conforme será visto nos difratogramas dos atributos mineralógicos.

A irrigação associada ao cultivo não alterou significativamente a estrutura do solo, mesmo sabendo que com ciclos de umedecimento e secagem (processos que certamente ocorreriam mais intensivamente na área irrigada) a probabilidade de causar modificações significativas na estrutura do solo, especialmente no tamanho e distribuição dos poros é muito propícia (PIRES et al., 2005, PIRES et al., 2007), ainda assim, 26 anos de irrigação associada ao cultivo, não foram suficientes para que essa mudança acontecesse.

No P1 e P2 foram observadas presenças de *slickensides*. O P1 os horizontes BA e Bt apresentam *slickensides*, variando de fraca a forte. O P2 os horizontes Bt, BC e C também apresentaram variando de fraca a forte.

Quanto à consistência, os dois perfis apresentaram muita plasticidade e pegajosidade, sendo suas estruturas firmes quando úmidas e extremamente duras quando secas.

As transições nos perfis variaram de abrupta para clara, porém com mais predominância clara.

Foi observado presença de mosqueados no P2, especificamente nos horizontes BC e C de forma abundante referindo-se a minerais primários em alteração.

As descrições dos atributos físicos dos Luvisolos (Perfil 1 e Perfil 2) encontram-se na tabela 3 e o complemento da tabela se encontra nos apêndices

Os dois perfis apresentam pedregosidade superficial no ambiente, característica do semiárido nordestino brasileiro (MONTEIRO, 2010). A quantidade de cascalho é alta tanto no Ap do P1 como no A do P2 e decresce nos demais horizontes. Presença de Calhaus apenas no P2.

No P1 e P2 os valores de areia nos horizontes Ap e A variaram de 457 a 612 g kg<sup>-1</sup> e nos horizontes Bt variou de 413 a 420 g kg<sup>-1</sup>. Os valores de silte nos horizontes Ap e A variaram de 135 a 150 g kg<sup>-1</sup> e no Bt variou de 60 a 144 g kg<sup>-1</sup>. Por fim, os valores de argila nos horizontes Ap e A variaram de 253 a 392 g kg<sup>-1</sup> e nos horizontes Bt dos dois perfis variou de 436 a 526 g kg<sup>-1</sup>.



Tabela 3 - Atributos físicos do solo irrigado (P1) e não irrigado (P2) estudados no município de Belém do São Francisco - PE

Horizonte		Composição granulométrica da terra fina (g kg <sup>-1</sup> )			Densidade (g cm <sup>-3</sup> )
Símb.	Prof. (cm)	Areia (2-0,05mm)	Silte (0,05-0,002mm)	Argila (<0,002mm)	Solo
<b>P1 - LUVISSOLO CRÔMICO ÓRTICO VERTISSÓLICO</b>					
Ap	0-9	457	150	392	1,59
BA	9-22	450	161	389	1,81
Btv	22-45	420	144	436	1,86
BCv	45-60	478	134	389	1,71
Cr1	60-78	742	54	204	-
Cr2	78-105 <sup>+</sup>	775	21	204	-
<b>P2 - LUVISSOLO CRÔMICO ÓRTICO SÓDICO VERTISSÓLICO SÁLICO</b>					
A	0-12	612	135	253	1,44
Btvnz	12-45	413	60	526	1,73
BCvnz	45-60	432	136	432	1,79
Cnz	60-71	506	98	396	1,76
Crnz	71-110 <sup>+</sup>	653	50	296	-

(Símb.) - Símbolo; (Prof) - Profundidade; (Cas) - Cascalho; (TFSA) - Terra Fina Seca ao Ar; (A.M.G.) - Areia Muito Grossa; (A.G.) - Areia Grossa; (A.M.) - Areia Média; (A.F.) - Areia Fina; (A.M.F.) - Areia Muito Fina; (A.T.) - Areia Total; (Partíc.) - Partículas

Em relação aos teores de argila, é perceptível que no P1 não apresenta gradiente textural, porém isso pode estar associado ao cultivo na área, ou seja, o revolvimento pode ter misturado o horizonte Ap com B, perdendo assim o gradiente, todavia esse solo é considerado Luvissole, uma vez que o perfil 2, de referência do local, confirma que é um Luvissole e que o manejo associado ao cultivo ocasionou esse valor alto da argila no horizonte Ap.

Em relação à argila dispersa em água (ADA), os dois perfis apresentaram de moderadamente a fortemente dispersas, com grau de floculação baixo, variando de 4 a 29%. A argila dispersa em água pode eluiar no perfil do solo e formar horizontes mais ricos em argila, como acontece nos dois perfis nos horizontes B (MEURER et al., 2004). O grau de floculação baixo pode estar relacionado pela forte presença de minerais expansíveis 2:1 com predomínio de cargas negativas no meio, promovendo assim a dispersão. (CORRÊA et al., 2003)

A relação silte/argila foi considerada baixa para os dois perfis, variando de 0,11 a 0,53 o que pode estar relacionado por se tratar de solos desenvolvidos de rochas máficas em que sua alteração consequentemente é mais rápida devido a grande presença de minerais ferromagnesianos.

Os valores da densidade do solo, o P1 foi ligeiramente maior que o P2 e nos dois perfis os horizontes B tem os maiores valores o que pode estar associado à expansão dos argilominerais 2:1 (MITCHELL; SOGA, 2005). Corrêa et al. (2010) observaram valores de

densidade do solo semelhantes para os solos sob cultivo com fruticultura, porém menores que os encontrados no solo sob caatinga.

É esperado que a densidade de partículas não se alterasse com a substituição da caatinga degradada pela irrigação associado ao cultivo, pois este atributo está relacionado com a mineralogia do solo. Portanto, representa uma característica intrínseca ao solo, cujas mudanças significativas somente podem ocorrer quando há aporte considerável de matéria orgânica, podendo assim reduzir os valores de  $D_p$  (REINERT; REICHERT, 2006).

## 4.2 Atributos Químicos

Os atributos químicos dos Luvisolos (Perfis 1 e 2) encontram-se na tabela 4 e uma complementação da tabela encontra-se no apêndice, os teores totais dos elementos maiores e menores são apresentados na tabela 5 e os valores dos óxidos de baixa e alta cristalinidade se encontram na Tabela 6.

O P1 apresentou maiores valores de pH em água comparado ao perfil 2, variando de 5,8 a 7,4. Valores de pH em KCl também foram mais altos no perfil 1. Os valores de pH em KCl sempre foram menores que o pH em água, indicando a predominância de carga negativa nas superfícies dos coloides.

Os valores de  $Ca^{2+}$  no P1 foi maior que no P2, variando de 9,22 a 20,95  $cmol_c kg^{-1}$  no P1 e 4,92 a 9,89 no P2.

Os valores de  $Mg^{2+}$  em relação aos dois perfis apresentou uma maior diferença no horizonte A do P2 correspondeu a 1,54 e o Ap do P1 6,19  $cmol_c kg^{-1}$ . Por se tratar de uma rocha de fácil alteração e rica em magnésio, a presença da água pode ter contribuído para um maior intemperismo químico e assim aumentando a disponibilidade do magnésio. Outro ponto importante é que nos primeiros 20cm do solo a atividade microbiana é mais alta, sendo assim, a ação dos micro-organismos também pode contribuir significativamente no intemperismo de minerais em ambiente de solos, disponibilizando os cátions presos nas estruturas dos minerais (WILSON et al., 2008).

Corrêa et al. (2009) observaram considerável aumento dos teores de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  sob diferentes usos (irrigação de frutíferas e pastagem) em relação à caatinga.

É importante salientar que no complexo de troca, o cálcio e magnésio são as principais bases encontradas. Estes elementos são fontes da dissolução de minerais facilmente intemperizáveis, como micas presente no material de origem da região (FERREIRA et al., 2016; PARAHYBA et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2008) e dos solos estudados.

Tabela 4 - Atributos Químicos do solo Irrigado e Não Irrigado estudados no município de Belém de São Francisco - PE

Horizontes		Complexo sortivo (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )							Valor V	P	PST	C.E	COT	CL	Est.C IMC	
Símbolo	Água	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SB	H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup>	CTC Potencial	At. Argila	(%)	mg kg <sup>-1</sup>	(%)	dS m <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	Mg.ha <sup>-1</sup> (%)
<b>P1 - LUVISSOLO CRÔMICO ÓRTICO VERTISSÓLICO</b>																
Ap	5,8	11,35	6,19	0,33	0,10	17,97	3,47	21,44	54,69	84	86,6	0,47	1,55	13	2,13	17,02 131,26
BA	6,8	12,20	10,92	0,08	0,18	23,38	1,98	25,36	65,19	92	73,28	0,71	0,40	7	1,41	15,56 131,26
Btv	7,2	11,15	11,28	0,06	0,18	22,67	1,24	23,91	54,84	95	71,65	0,75	0,78	5	0,90	22,38 131,26
BCv	7,4	20,95	8,90	0,06	0,15	30,06	0,25	30,31	77,92	99	79,26	0,49	1,05	5	0,24	14,23 131,26
Cr1	7,3	10,71	5,70	0,03	0,09	16,53	0,50	17,03	83,48	97	72,63	0,53	0,54	3	0,15	-
Cr2	6,9	9,22	7,41	0,03	0,1	16,76	0,26	17,02	83,43	98	78,79	0,59	0,51	3	0,13	-
<b>P2 - LUVISSOLO CRÔMICO ÓRTICO SÓDICO VERTISSÓLICO SÁLICO</b>																
A	5,0	4,92	1,54	0,58	0,10	7,14	3,71	10,85	42,89	65,81	7,77	0,56	0,76	12	1,55	21,44 100
Btvnz	6,8	9,89	9,64	0,08	1,24	20,85	0,99	21,84	41,52	95,47	0,3	6,89	6,45	6	0,72	35,89 100
BCvnz	7,0	9,28	10,75	0,08	3,14	23,25	0	23,25	53,82	100	0,50	17,44	10,95	6	0,56	15,09 100
Cnz	6,9	9,82	11,86	0,09	3,36	25,13	0	25,13	63,46	100	29,36	18,67	9,85	4	0,24	6,40 100
Crnz	6,7	9,55	8,97	0,05	3,21	21,78	0	21,78	73,58	100	77,27	17,83	8,67	1	0,10	-

At. - Atividade; Est. C - Estoque de Carbono; COT - carbono orgânico total; CL - carbono lábil; IMC. - Índice de Manejo de Carbono

Apesar de não se esperar, os valores de  $\text{Na}^+$  e PST foram significativamente maiores no P2 comparados ao P1. O valor de  $\text{Na}^+$  no P2 variou de 0,31 a 3,36  $\text{cmol}_e\text{kg}^{-1}$  contra 0,09 a 0,18  $\text{cmol}_e\text{kg}^{-1}$  no P1. Esses valores indicam que pode está acontecendo o processo de solodização no P1, ou seja, diminuição do  $\text{Na}^+$  e um início do processo de solonização no P2, ou seja, um aumento de  $\text{Na}^+$ . Os valores de PST intensificam essa suposição uma vez que no P1 varia de 0,47 a 0,75 % e no P2 de 0,56 a 18,67 %, contribuindo para o caráter sódico no P2 (EMBRAPA, 2013).

Avaliando a condutividade elétrica, o P1 foi consideravelmente mais baixo que o P2. O P1 variou de 0,51 a 1,55  $\text{dSm}^{-1}$  e o P2 variou de 0,76 a 10,95  $\text{dSm}^{-1}$ , sendo o P2 de caráter sálico de acordo com EMBRAPA (2013). O que pode estar acontecendo no P2 é o processo de salinização. Por se tratar de solos com bastante mineral primário em alteração, os sais resultantes desses minerais, encontrados nos solos e nas rochas, são transportados pelas águas e armazenados nos solos acumulando-se à medida que a água é evaporada ou consumida, originando o processo de salinização. (DARKER,1988). Estudos realizados por Gheyi (2000) e Barros et al. (2005), avaliaram que o manejo da irrigação de forma incorreta no semiárido nordestino, acarretou na salinização dos solos, diferente do que aconteceu no presente estudo.

Solos afetados pelo sal são comumente definidos como aqueles que contêm um excesso de sais solúveis, altas quantidades de  $\text{Na}^+$  no complexo de troca ou ambos (USSL STAFF, 1954, BOHN et al., 2001, SPARKS, 2003). Seu modelo clássico de gênese, inicialmente proposto por Gedroiz (1912), Gedroiz (1917), Gedroiz (1925), é válido em muitas regiões (KELLOG, 1934, KISEL, 1981, ZAIDEL'MAN et al., 2010, MILLER; BRIERLEY, 2011). O modelo de Gedroiz e contribuições posteriores postulam que o solo salino, sódico e degradado de Sódico se origina em uma sequência de evolução do solo. No primeiro estágio, os solos salinos são formados a partir de solos não afetados pelo sal por um processo chamado salinização, caracterizado pelo acúmulo de sais mais solúveis do que o gesso no perfil do solo (principalmente cloretos e sulfatos de sódio, magnésio, cálcio e potássio) e um consequente aumento de cátions mono e divalentes no complexo de troca (GEDROIZ, 1912, USSL STAFF, 1954, FANNING; FANNING, 1989, BUI et al., 1998). Solos sódicos são originários do segundo estágio, derivando do solo salino a lixiviação da maioria dos sais solúveis e / ou da precipitação dos minerais  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , com um aumento relativo de  $\text{Na}^+$  trocável e ocorrência comum de carbonatos de sódio (GEDROIZ, 1912, SUMNER et al., 1998, SPARKS, 2003). Este processo, conhecido como solonização, é geralmente responsável por um aumento importante no pH do solo, geralmente superior a 8,5 (USSL STAFF, 1954, FANNING; FANNING, 1989, SCHAEZTL; ANDERSON, 2005), principalmente por causa da liberação de hidroxilas para a

solução por hidrólise e a dissolução de carbonatos de sódio (BOHN et al., 2001, MCBRIDE, 1994). Finalmente, a lixiviação contínua no ambiente leva a um processo diferente chamado solodização, responsável pela formação de um solo sódico degradado (Soloth) (GEDROIZ, 1925, KELLOG, 1934). A solodização é marcada por uma perda de sódio e outros cátions básicos e um aumento de  $H^+$  no complexo de troca, primeiro nos horizontes próximos da superfície e posteriormente em todo o perfil. Os solos formados nos estágios iniciais de solodização são convencionalmente denominados Solonetz Solodz (WESTIN, 1953, JANZEN; MOSS, 1956, WHITTIG, 1959, HALLSWORTH; WARING, 1964, MILLER; PAWLUK, 1994, ANDERSON, 2010), enquanto aqueles formados em os estágios finais são chamados de Soloth (KELLOG, 1934), Solod (WESTIN, 1953, HECK; MERMUT, 1992, MILLER; PAWLUK, 1994, ZAIDEL'MAN et al., 2010) ou Solodi (JANZEN; MOSS, 1956, WHITTIG, 1959).

De acordo com a classificação da água para irrigação Holanda et al. (2016), a água do rio São Francisco foi classificada como C1S1. Como a condutividade elétrica da água do rio obteve valor de  $0,71 \text{ dS m}^{-1}$ , foi classificada como C1 uma vez que o valor da água do rio está abaixo de  $0,75 \text{ dS m}^{-1}$  (valor de referência) com risco de salinidade baixo. De acordo com as classes de sodicidade o valor da RAS entre 0 e  $3 \text{ mmol L}^{-1}$  e condutividade maior que  $0,70$  até  $1,19 \text{ dS m}^{-1}$  é classificada como sem problemas de sodicidade e representada como S1. Sendo assim, como o valor da RAS da água do rio correspondeu a  $0,46 \text{ mmol L}^{-1}$ , essa água é classificada como C1S1. É possível concluir, que a água do rio São Francisco é uma água limpa que não causa problemas de salinidade e sodicidade quanto ao seu uso.

Os valores de  $K^+$  foram considerados baixos nos dois perfis. No P1 variou de 0,03 a  $0,33 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$ . No P2 variou de 0,05 a  $0,58 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$ . Os teores de potássio disponíveis ( $K^+$ ), nutriente móvel e de grande importância no solo, apresentam-se normalmente em quantidades inferiores aos teores de cálcio e magnésio (LEPSCH, 2011).

Os valores de CTC apresentaram diferenças no horizonte Ap do P1 correspondendo a  $21,44 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$  contra  $10,85 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$  do horizonte A do P2. Embora o carbono orgânico não tenha sido tão superior entre os horizontes superficiais dos dois perfis, ainda assim há um aporte de matéria orgânica maior no P1 em relação ao P2, podendo assim contribuir para essa diferença de CTC entre os horizontes superficiais dos dois perfis. Os valores mais altos encontram-se nos horizontes B e C de cada perfil. Esses valores estão associados às feições morfológicas dos solos, em que a estrutura, dureza e o fendilhamento mostram a participação expressiva dos argilominerais 2:1 (CORRÊA et al., 2003)

O fósforo apresentou valores altos nos dois perfis o que não era esperado, uma vez que outros trabalhos foram feitos no semiárido encontrando valores de fósforos baixos (PEREIRA et al., 1998; FARIAS et al., 2009; CORRÊA, 2011). O P1 se destaca em relação ao P2 porque ele vai desde o horizonte Ap ao Cr2 com altos teores de fósforo, variando de 71,65 a 86,6  $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$ . O P2 o horizonte A, Bt e BC aparecem com valores baixos variando de 0,3 a 7,77  $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$  e 77,27 no Cr. O valor mais alto no P1 no horizonte Ap pode estar relacionado a adubação e esse revolvimento no local misturando os horizontes A com B resultando em valores altos de fósforo nos horizontes B e a rocha pode estar contribuindo para esses valores altos nos horizontes Cr para ambos perfis.

Em relação aos teores de ferro extraído por DCB e por oxalato ácido de amônio, é perceptível que no P1 os valores foram relativamente maiores. Variando de 8,895 a 52,163  $\text{g kg}^{-1}$  de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  Ditionito e 0,497 a 3,592 de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  Oxalato no P1. No P2 variou de 9,569 a 52,666  $\text{g kg}^{-1}$  de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  Ditionito e 0,684 a 1,925 de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  Oxalato. A relação  $\text{Fe}_o/\text{Fe}_d$ , apresentou valores baixos nos dois perfis variando de 0,03 a 0,11  $\text{g kg}^{-1}$ , indicando assim maior predomínio na forma de óxidos com maior grau de cristalinidade, comprovados na mineralogia com a presença da hematita.

Tabela 6 - Extração seletiva dos solos estudados (P1 e P2) no município de Belém de São Francisco - PE

Horizonte	Prof. (cm)	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_o/\text{Fe}_d$
		Ditionito	Oxalato	
g.Kg <sup>-1</sup>				
P1 - LUVISSOLO CRÔMICO ÓRTICO VERTISSÓLICO				
Ap	0-9	32,20	3,59	0,11
BA	9-22	52,16	2,23	0,04
Btv	22-45	44,04	1,92	0,04
BCv	45-60	28,05	1,53	0,05
Cr1	60-78	16,79	0,53	0,03
Cr2	78-105+	8,98	0,49	0,05
P2 - LUVISSOLO CRÔMICO ÓRTICO SÓDICO VERTISSÓLICO SÁLICO				
A	0-12	28,57	1,74	0,06
Btvnz	12-45	52,66	1,92	0,03
BCvnz	45-60	41,40	1,62	0,03
Cvnz	60-71	29,20	1,16	0,04
Crnz	71-110+	9,56	0,68	0,07

Na Tabela 5 o valor de WIS é obtido a partir da relação dos parâmetros R3+R2+M, em que R2 corresponde ao valor do  $Mg^{2+}$ , R3 corresponde  $Al^{3+} + Fe^{3+}$  e M que corresponde a  $Na^+ + K^+ + 2Ca^{2+}$ . A partir dos resultados obtidos, o perfil 2 é mais intemperizado. Apesar de não ser esperado, pode ser justificado. O que alterou o valor do WIS foi o maior valor de cálcio em P1 e a relação com  $Al^{3+}$  e  $Fe^{3+}$ , dessa forma apresentando maior grau de intemperismo no P2.

Tabela 5 - Valores semiquantitativos de óxidos determinados por FRX do P1 e P2 estudados no município de Belém de São Francisco - PE

Horizonte	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	WIS	
%												
P1 - LUVISSOLO CRÔMICO ÓRTICO VERTISSÓLICO												
Ap	0-9	53,33	17,97	10,65	4,48	2,94	0,68	1,05	1,45	0,43	0,25	0,49
BA	9-22	50,99	19,67	11,39	3,88	3,15	0,50	0,89	1,83	0,30	0,24	0,53
Btv	22-45	50,10	20,46	11,78	3,72	3,42	0,42	0,94	1,66	0,37	0,23	0,54
BCv	45-60	47,84	20,26	12,24	5,23	3,92	0,57	0,88	1,51	0,44	0,20	0,48
Cr1	60-78	43,75	20,32	13,03	9,02	3,56	1,44	0,62	1,82	1,14	0,19	0,39
Cr2	78-105+	45,41	16,97	12,88	9,49	5,37	0,98	0,55	1,54	1,21	0,24	0,33
P2 - LUVISSOLO CRÔMICO ÓRTICO SÓDICO VERTISSÓLICO SÁLICO												
A	0-12	60,03	18,69	6,84	2,45	0,96	1,19	2,45	1,46	0,23	0,17	0,59
Btvnz	12-45	53,79	21,43	10,06	2,21	1,66	1,00	1,24	1,36	0,08	0,17	0,65
BCvnz	45-60	50,31	20,25	11,70	3,76	3,48	1,05	1,01	1,39	0,08	0,17	0,52
Cnz	60-71	49,46	18,94	12,56	4,24	4,32	0,96	0,87	1,48	0,11	0,19	0,48
Crnz	71-110+	50,67	16,70	12,73	6,12	5,00	1,23	0,59	1,42	0,18	0,22	0,40

#### 4.2.1 Carbono orgânico total, estoque de carbono, índice de manejo de carbono e relação do carbono ativo com o COT

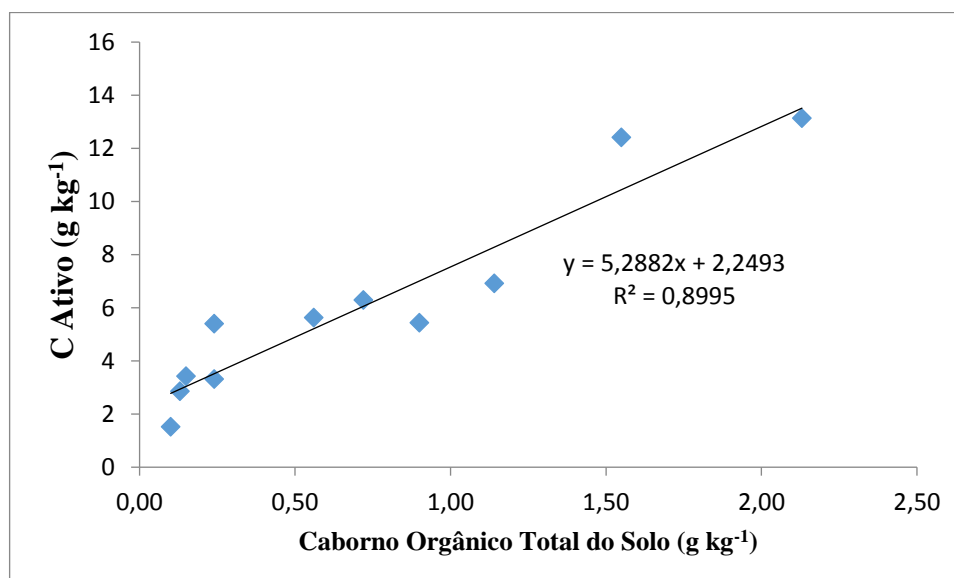
Em relação ao carbono orgânico total, é perceptível que não existe uma grande diferença entre o P1 e P2. O que pode está acontecendo é um aporte de matéria orgânica no P1 e uma rápida decomposição desse carbono pelos micro-organismos, mantendo assim certo “equilíbrio” entre os valores P1 e P2.

Considerando a espessura, os valores de estoque de carbono do P1 é um pouco menor comparado ao P2 na superfície do solo, porém em profundidade o estoque é preservado no P1 e maior que o P2, por exemplo, na espessura 12-45 cm do perfil de referência (P2) o estoque é 35,8 mg.ha<sup>-1</sup> e no P1 de 37,19 mg.ha<sup>-1</sup>. Estudos relatados por Sampaio e Costa (2011), os valores de estoques de C na Caatinga é de 90 Mg ha<sup>-1</sup>, esses mesmos autores estimaram que na Caatinga a emissão de C proveniente dos solos submetidos à mudança de uso da terra ou sob processos de degradações giram em torno de 1000 (Tg ano<sup>-1</sup>). Estudos recentes comparando tempo de reflorestamento em uma cronossequência no sertão de Pernambuco mostraram que

os valores do estoque de carbono variaram de 27 a 45 Mg ha<sup>-1</sup> comparando áreas com 5 anos de pousio com áreas de Caatinga preservada (De ARAUJO FILHO et al., 2018).

Analisando o índice de manejo do carbono, o P2 é considerado o de referência, um correspondendo a 100%. O P1 apresentou 131,26 %, indicando que o uso da irrigação associada ao cultivo foi uma forma positiva de aumentar o carbono orgânico no solo, ou seja, o manejo não causou impacto e nem degradação do solo.

Em relação ao carbono lábil e o carbono orgânico total nos dois perfis (ver Figura 4), foi possível concluir que o carbono lábil, sendo uma fração importante para o estoque, apresentou efeito positivo no carbono orgânico total do solo, contribuindo para os teores de COT em ambos perfis. Isso indica que o C ativo pode ser um indicador efetivo para mudanças no carbono orgânico do solo, consistente com estudos anteriores (HOLT, 1997; LU et al., 2017).



**Figura 4.** Gráfico de relação entre o carbono ativo do solo (Carbono lábil) e COT do perfil irrigado associado ao cultivo (P1) e perfil não irrigado sob caatinga degradada (P2) no município de Belém de São Francisco-PE

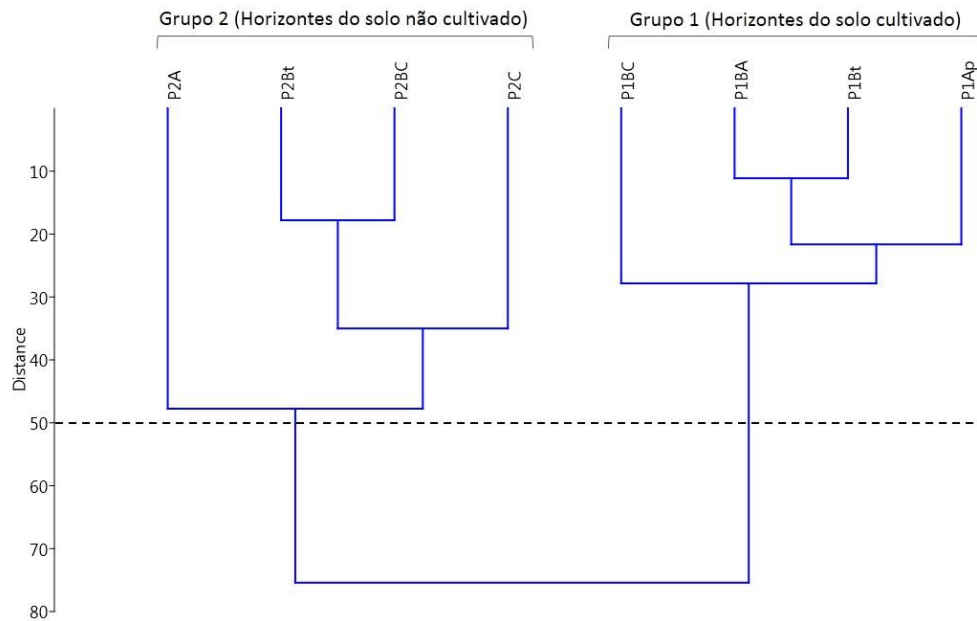
#### 4.2.2 Análise da multivariada relacionada aos atributos químicos do P1 e P2

As análises multivariadas demonstram o possível efeito do manejo (irrigação associada ao cultivo) sobre os atributos químicos dos solos. A análise de agrupamento sob uma distância de 50 resultou em dois grupos distintos (Figura 5). O grupo 1 engloba apenas os horizontes do solo cultivado e o grupo 2 engloba apenas os horizontes do solo não cultivado. A análise discriminante corrobora os resultados obtidos pela análise de agrupamento, onde os horizontes presentes no solo cultivado e os presentes no solo não cultivado formam grupos distribuído em

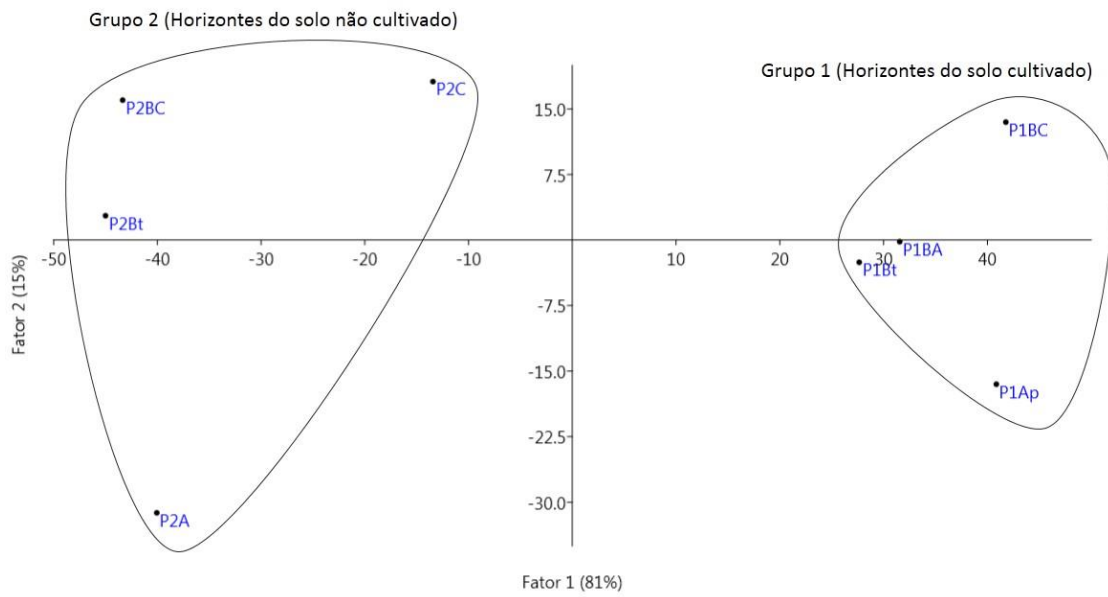


posições distintas (Figura 6). Na análise discriminante, a componente principal 1 apresentou um “Eigenvalue” de 15,5, contribuindo com 81% do total da variância e a componente principal 2 apresentou um “Eigenvalue” de 3,0, contribuindo com 15% do total da variância.

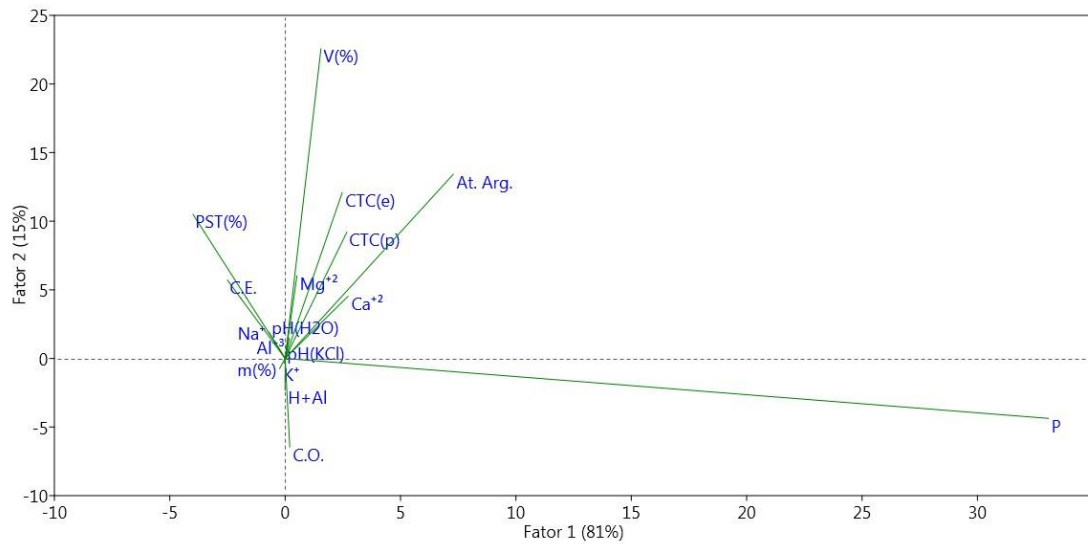
A componente 1 foi melhor representada pelos seguintes atributos químicos: P (0,99), At. Arg. (0,76) e  $\text{Ca}^{+2}$  (0,52). A componente 2 foi melhor representada pelos seguintes atributos químicos: V(%) (0,91),  $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$  (0,78) e  $\text{pH}_{(\text{KCl})}$  (0,72). O fator 1 foi negativamente carregado para os atributos químicos mais relacionados a salinidade (C.E.) e sodicidade ( $\text{Na}^+$  e PST) nos horizontes mais profundos do perfil 2, assim como os atributos químicos que evidenciam a associação entre a matéria orgânica e o alumínio no horizonte superficial do perfil 2 (C.O., m(%) e  $\text{Al}^{+3}$ ) (Figura 7). Em adição, o fator 1 foi positivamente carregado para os atributos químicos como a V(%), At. Arg., CTC e P.



**Figura 5.** Análise de agrupamento dos horizontes do solo irrigado associado ao cultivo e não irrigado sob caatinga degradada com base em seus atributos químicos, no município de Belém de São Francisco - PE



**Figura 6.** Análise discriminante baseada em atributos químicos de horizontes de solo irrigado associado ao cultivo e não irrigado sob caatinga degradada, no município de Belém de São Francisco - PE



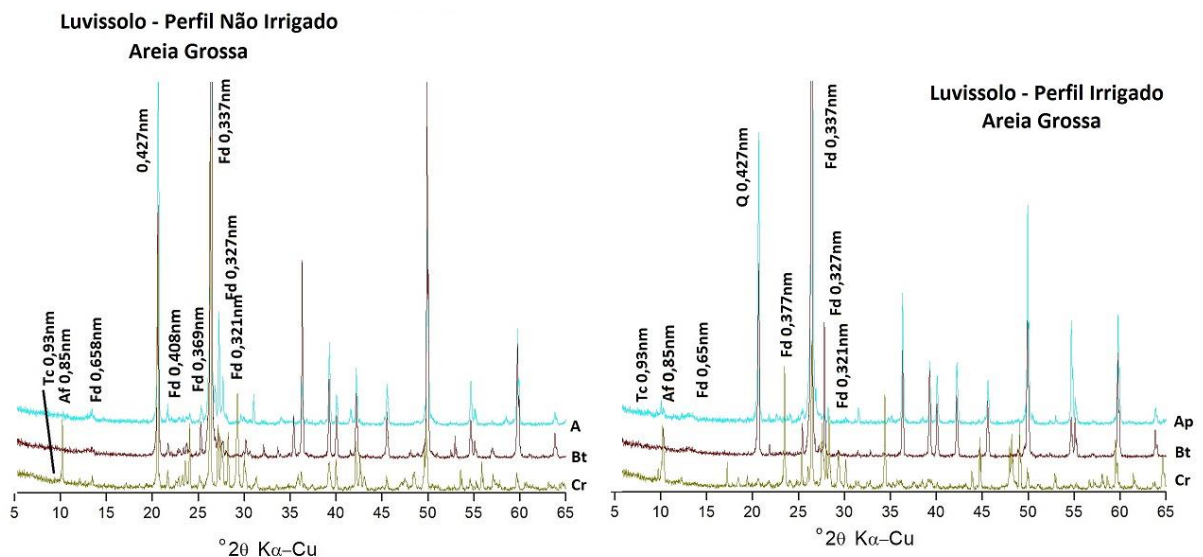
**Figura 7.** Carregamentos de principais atributos químicos em fatores significantes para horizontes de solo irrigado associado ao cultivo e não irrigado sob caatinga degradada, no município de Belém de São Francisco - PE

### 4.3 Mineralogia

Por se tratar de um solo com muitos minerais primários em alteração, a fração areia grossa (ver Figura 8) é representada pelos anfibólios, vários feldspatos com distintos picos marcados (0,658, 0,427, 0,337, 0,327, 0,321, 0,377) correspondendo aos feldspatos tanto potássico como plagioclásios. Ambos os perfis apresentaram o Talco, mineral altamente susceptível ao intemperismo, porém trata-se de um mineral que vem do metamorfismo e está no solo, por conta do ambiente semiárido. A presença do talco também foi observada por Santos (2011) em ambiente de semiárido no estado de Pernambuco, atribuído à posição do relevo e as frações mais grossas. Os picos do talco nos dos perfis corresponde a 0,93nm.

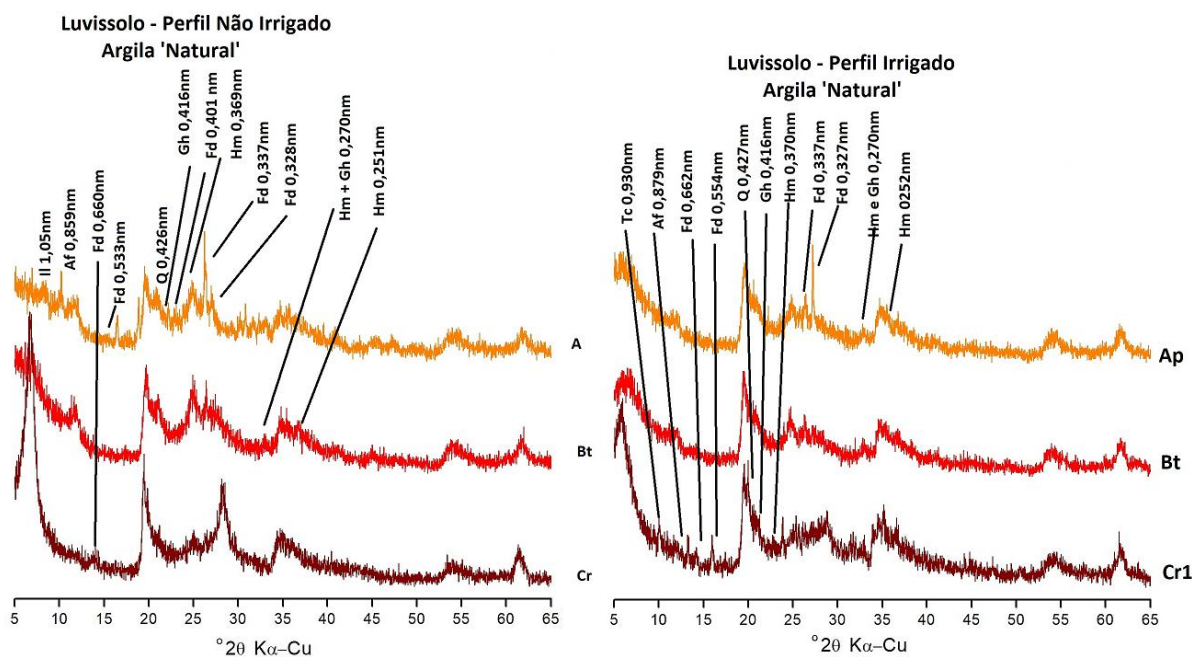
Apesar de não ser esperada a presença do mineral quartzo nessa rocha, foram detectados picos de quartzo correspondendo a 0,427 nm nos dois perfis. O quartzo se encontra no solo provavelmente por contribuição de duas fontes: eólica e, ou pedimentar; algum veio que pode estar presente entre as faces do material de origem (ver em apêndice descrição do Cr).

De forma geral, os minerais primários que predominam são os feldspatos (potássicos e plagioclásios) e anfibólios (mineral altamente sensível ao intemperismo, mas está presente porque a litologia é anfibolito). Sendo assim, é possível concluir que a mineralogia da areia grossa para os dois perfis apresenta uma litologia de base muito semelhante.



**Figura 8.** Mineralogia da areia grossa para o perfil irrigado associado ao cultivo, representado pelos horizontes Ap, Bt e Cr e perfil não irrigado sob caatinga degradada, representado pelos horizontes A, Bt e Cr, no município de Belém de São Francisco - PE. Af= Anfibólio; Fd= Feldspatos; Q= Quartzo; Gh= Goethita; Hm= Hematita; Tc= Talco

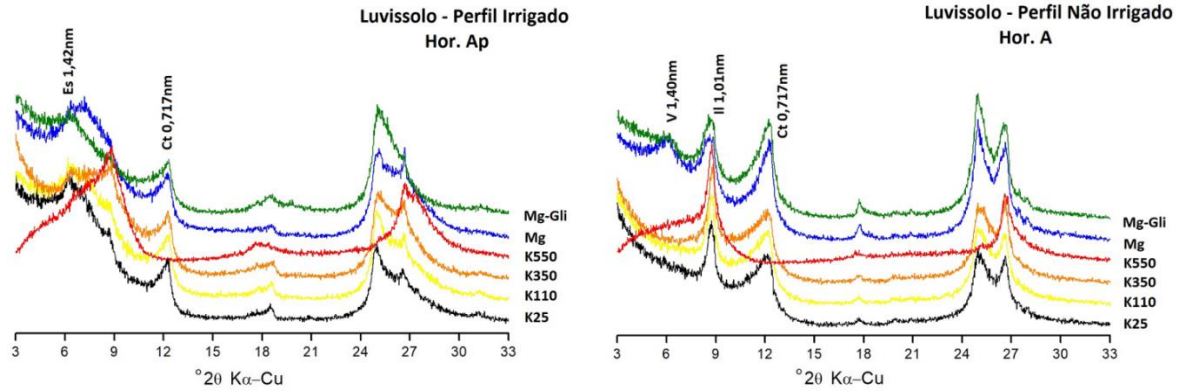
A difração de raios-X da fração argila natural (Figura 9) no perfil 1 apresentou picos de talco (0,930), anfibólio (0,879), feldspatos (0,554; 0,662; 0,337; 0,327), quartzo (0,427), goethita (0,416), hematita (0,370; 0,252), goethita-hematita (0,270) e no perfil 2 apresentou picos de illita (1,05), anfibólio (0,859), feldspatos (0,660; 0,533; 0,401; 0,377; 0,328), quartzo (0,426), goethita(0,416), hematita (0,251; 0,369) e goethita-hematita (0,270).



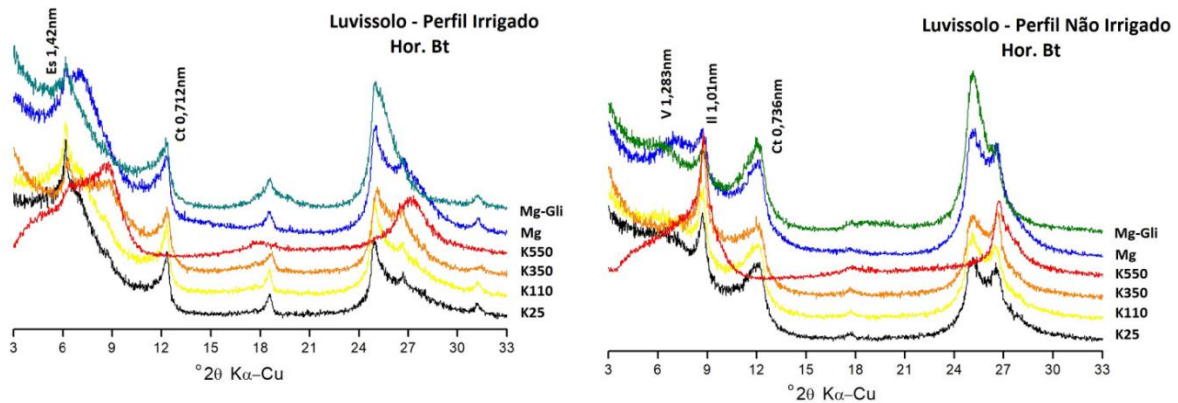
**Figura 9.** Mineralogia da argila natural para o perfil irrigado associado ao cultivo, representado pelos horizontes Ap, Bt e Cr1 e perfil não irrigado sob caatinga degradada, representado pelos horizontes A, Bt e Cr, no município de Belém de São Francisco - PE. Il= Illita; Af= Anfibólio; Fd= Feldspatos; Q= Quartzo; Gh= Goethita; Hm= Hematita; Tc= Talco

Nos tratamentos da argila apresentados na Figura 10, o horizonte A do perfil 2 apresenta minerais caulíníticos (pico de 0,717) mais cristalinos, indícios de estratificação, presença da vermiculita (pico de 1,40) e presença clara da illita (pico de 1,01). O horizonte Ap do perfil 1, apresenta caulinita (pico de 0,717) com estratificação e minerais esmectínicos (pico de 1,42). Nessa situação percebe-se que não existe mais a presença da mica (illita) no P1, ela pode estar presente na forma estratificada ou ausente, o que deixa claro que do P1 para o P2 ocorreu alterações nos horizontes superficiais. No horizonte Bt do perfil 2 (Figura 11) ocorre a presença de mineral caulínítico parecido com o horizonte A, indícios de estratificação 2:1, mineral caulínítico com mica (illita) em menor quantidade e presença de material mais esmectínico. No horizonte Bt do perfil 1 não há indícios de mica, ocorre a presença de minerais esmectínicos claro e presença de material caulínítico. No horizonte Cr do perfil 2 (ver Figura 12), apresenta

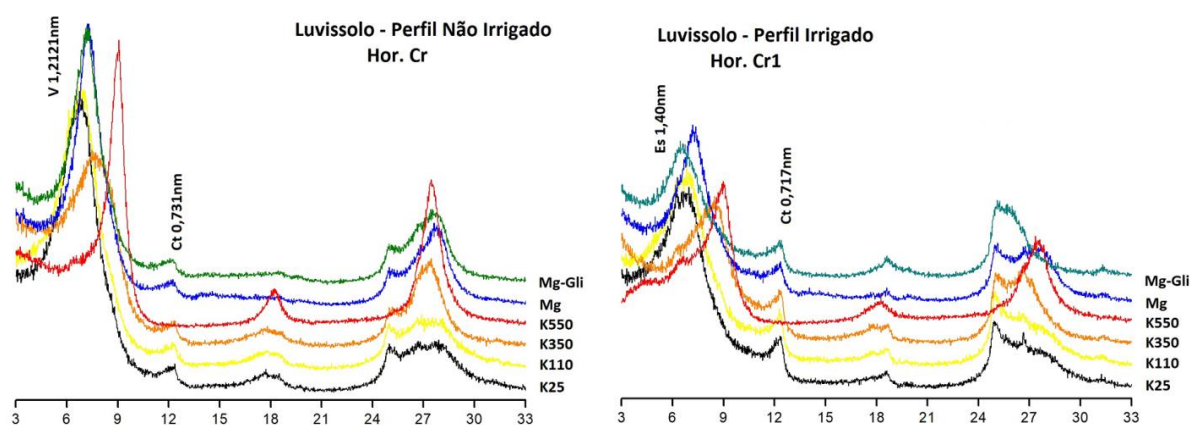
presença de vermiculita, minerais cauliníticos com indícios de estratificação. No horizonte Cr do P1 ocorre presença de material esmectítico mais alterado comparado ao P2.



**Figura 10.** Mineralogia dos tratamentos de argila para o horizonte Ap do perfil irrigado associado ao cultivo (P1) e horizonte A do perfil não irrigado sob caatinga degradada (P2), no município de Belém de São Francisco - PE. K25 = saturação com K e temperatura ambiente; K110 = Saturação com K e aquecimento a 110 °C; K350 = saturação com K e aquecimento a 350 °C; K550 = saturação com K e aquecimento a 550 °C; Mg = Saturação com Magnésio e MgGlic = saturação com Magnésio e solvatação com glicerol. Es= esmectita; Ct= Caulinita; V= Vermiculita; Il= Ilita



**Figura 11.** Mineralogia dos tratamentos de argila natural para o horizonte Bt do perfil irrigado associado ao cultivo e horizonte Bt do perfil não irrigado sob caatinga degradada, no município de Belém de São Francisco - PE. K25 = saturação com K e temperatura ambiente; K110 = Saturação com K e aquecimento a 110 °C; K350 = saturação com K e aquecimento a 350 °C; K550 = saturação com K e aquecimento a 550 °C; Mg = Saturação com Magnésio e MgGlic = saturação com Magnésio e solvatação com glicerol. Es= Esmectita; Ct= Caulinita; V= Vermiculita; Il= Ilita



**Figura 12.** Mineralogia dos tratamentos de argila natural para o horizonte Bt do perfil irrigado associado ao cultivo e horizonte Bt do perfil não irrigado sob coating degradada, no município de Belém de São Francisco - PE. K25 = saturação com K e temperatura ambiente; K110 = Saturação com K e aquecimento a 110 °C; K350 = saturação com K e aquecimento a 350 °C; K550 = saturação com K e aquecimento a 550 °C; Mg = Saturação com Magnésio e MgGlic = saturação com Magnésio e solvatação com glicerol. Es= Esmectita; Ct= Caulinita; V= Vermiculita

As esmectitas podem apresentar sua formação no material de origem, ser produto de intemperismo de outros minerais ou originadas por neoformação no solo (AZEVEDO; TORRADO, 2009). Esses minerais são componentes frequentemente encontrados em solos pouco intemperizados, formados pelo intemperismo de micas pela conservação de parte das camadas 2:1 (MELO et al., 2009). Uma característica dos solos dominados por esmectita está relacionada com sua consistência pegajosa e plástica quando molhados, e de consistência dura quando seca. À medida que o solo seca, os *slickensides* são características pedológicas que se formam por consequência ao inchaço e cisalhamento, visto na morfologia do presente estudo (DIXON, 2002; REID-SOUKUP; ULERY, 2002).

Em relação à presença da caulinita nos perfis estudados, no Brasil ocorre com mais frequência pela dissolução de minerais primários e precipitação de Al e Si a partir da solução do solo (MELO; WYPYCH, 2009). Pode ocorrer também através da lixiviação e transformação das micas e de feldspatos. Os meios para a formação da caulinita estão associados aos fluxos de água, caso ocorra lixiviação mais acentuada e dessilicificação parcial, formam-se argilominerais do tipo 1:1, processo conhecido como monossilicificação (KAMPF; CURI, 2012).

A illita, presente no perfil 2, é possivelmente o mineral de argila mais comum em ambientes de superfície terrestre (MEUNIER; VELDE, 2004). Além disso, a maioria dos estudos que descrevem a formação de illita em solos concluiu que a fonte de partículas de illita é mica, geralmente muscovita, já presente entre os minerais primários da rocha (MEUNIER; VELDE, 2004). No caso do presente estudo, a illita não pode ter sido fonte da muscovita uma

vez que na mineralogia da areia não apresentou a ocorrência de mica. Dessa forma, acredita-se que a formação de ilita é o resultado da transformação de feldspato-K. Entre os casos relatados de neoformação de ilita sob condições de intemperismo, a reação é predominantemente pensada para ser impulsionada pela alteração de feldspato-K (REICHENBACH; RICH, 1975, MEUNIER, 1980, SINGER, 1989, MEUNIER; VELDE, 2004). Apenas dois estudos conhecidos mencionaram que o feldspato plagioclásio também poderia estar envolvido na neoformação de ilitas (BOURGEON, 1992, JIMÉNEZ-ESPINOSA et al., 2007). Como resultado, e apesar de um século de debate sobre a origem da ilita na rocha intemperizada, ver as primeiras especulações de De Lapparent (1909), resumidas em uma visão geral por Tardy (1997) , algumas dúvidas continuam a prevalecer sobre a origem da ilita, sobre formas de distinguir suas múltiplas formas e sobre as condições ambientais que são mais favoráveis à sua formação em ambientes de superfície.

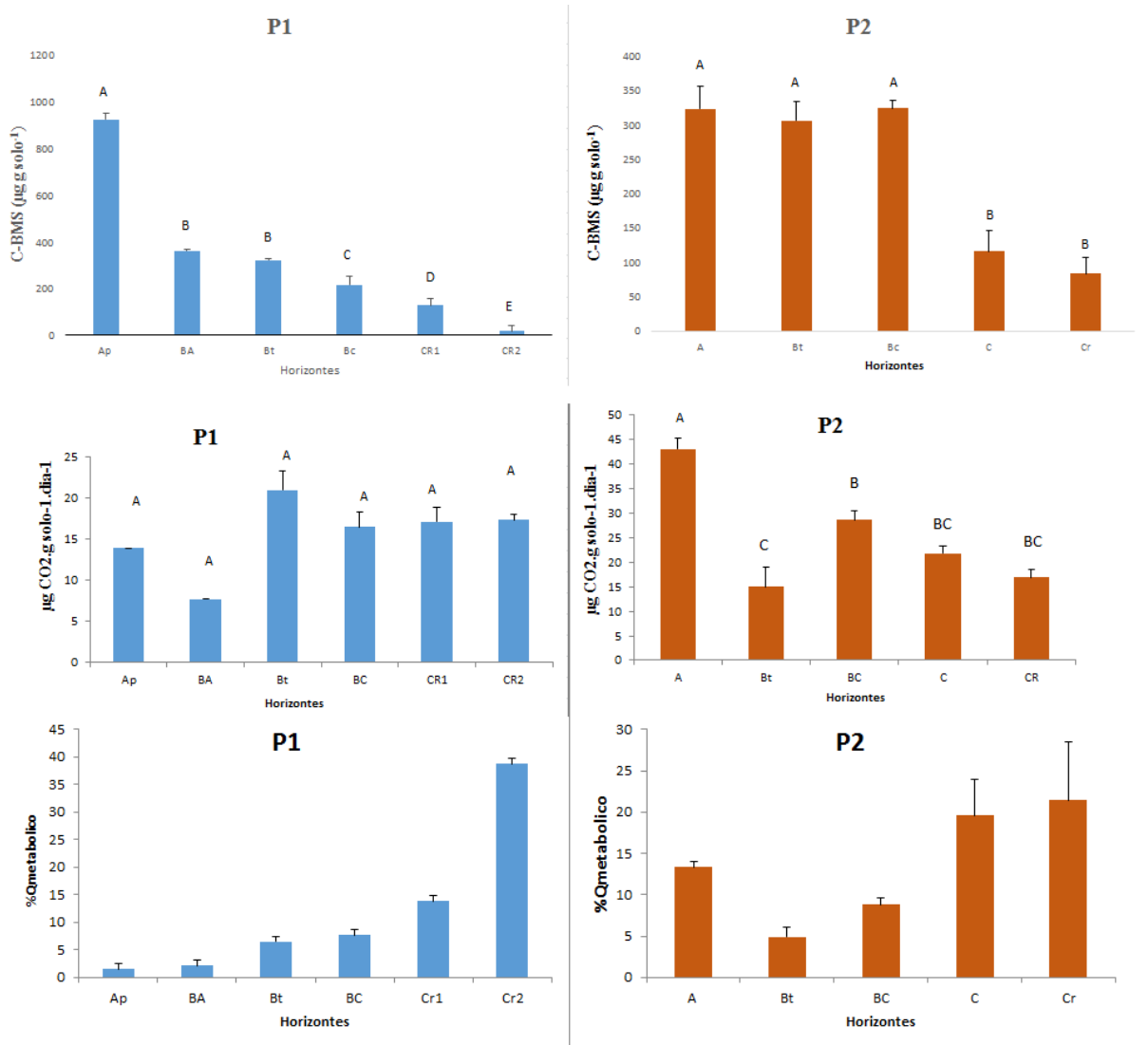
#### **4.4 Microbiologia**

##### **4.4.1 Carbono da biomassa microbiana (C-BMS), respiração basal do solo, quociente metabólico**

Os resultados do C-BMS, C-CO<sub>2</sub>, qCO<sub>2</sub> estão expressos na figura 13. O C-BMS foi mais alto no P1 comparado ao P2 principalmente no horizonte Ap que teve o maior valor correspondendo a 924,36 µg g solo<sup>-1</sup> diferenciando significativamente (P<0,05) dos demais valores encontrados nos demais horizontes do mesmo perfil. No P2 o horizonte A chegou a 323,81 µg g solo<sup>-1</sup> de C-BMS sendo ausente de diferenças significativas (P>0,05) entre si. Neves (2018) também encontrou valores maiores do C-BMS em solos do semiárido maiores em áreas vegetadas quando comparado com áreas sem vegetação, porém em proporções menores do que os presentes neste trabalho. Silva (2013) ao avaliar quantidade de biomassa microbiana em áreas de caatinga encontrou valores médios de 144,43 µg g solo<sup>-1</sup> bem menor que o valor encontrado no P2 que, em condição de caatinga degradada, apresentou valores maiores que 300 µg g solo<sup>-1</sup> nos três primeiros horizontes.

Existe uma correlação significativa entre a matéria orgânica e a biomassa microbiana no solo, pois a disponibilidade de carbono é um dos fatores que controla o desenvolvimento da comunidade microbiana (RUAN et al., 2004). Porém no presente estudo, o desenvolvimento dessa comunidade é influenciado fortemente pelo manejo, ou seja, adubação realizada, o cultivo e a água, foram determinantes para o valor alto encontrado no horizonte Ap do P1 do carbono

da biomassa microbiana no solo. Estudos realizados por Sun et al.(2015) e Zhao et al. (2014) comprovam que o uso de adubação e a presença do cultivo, podem influenciar na presença e na estrutura das comunidades microbianas nos solos.



**Figura 13.** Carbono da biomassa microbiana do solo; respiração basal do solo e quociente metabólico do solo do perfil 1 irrigado sob cultivo e perfil 2 não irrigado com caatinga degradada, no município de Belém do São Francisco

A respiração basal do solo mede a atividade microbiológica do solo onde os micro-organismos degradam os compostos orgânicos a CO<sub>2</sub> (SILVA et al., 2013). Nesse estudo, a respiração basal nos horizontes do P1 atingiu 20,92 µg CO<sub>2</sub>.g solo<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup> não apresentando diferença significativa entre os horizontes (P>0,05). O P2 apresentou no horizonte A 43,03 µg CO<sub>2</sub>.g solo<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup> e se diferencia dos demais horizontes (P<0,05). O quociente metabólico foi elevado em todo o perfil do P2, porém se destacou mais elevado nos horizontes C e Cr. O



aumento no quociente metabólico e na respiração basal no P2 está relacionado com as condições de estresse oxidativo nos solos da região estudada, em função da perda da vegetação e dos processos erosivos dominante na área. O P2 pode apresentar uma comunidade microbiana mais baixa e a respiração aumenta em função da pouca quantidade de carbono.

Ao contrário do que foi avaliado por Kaschuk et al. (2010) e Araújo Filho et al. (2018), que associaram o aumento da respiração basal e do quociente metabólico à aos nutrientes disponíveis e liberados pelos vegetais, como também a decomposição microbiológica. Dessa forma, de acordo com Islam e Weil (2000), altas taxas de respiração podem indicar ou não algum tipo de distúrbio no solo; diante disso, a análise da respiração basal não deve ser feita isoladamente e, sim, em conjunto, por meio do quociente metabólico. Quando a biomassa microbiana se torna mais eficiente, menos CO<sub>2</sub> é perdido para a atmosfera e maior taxa de carbono é incorporada à biomassa microbiana, resultando em menores valores de qCO<sub>2</sub> (CUNHA et al., 2011) o que pode ser observado e está acontecendo no P1.

Uma observação a ser destacada é que o P2 é sálico (ver atributos químicos), e segundo Setia et al. (2010) relataram que o solo salino com condutividade elétrica maior que 5,0 dSm<sup>-1</sup> reduz a respiração microbiana demonstrando comprometimento significativo da função metabólica, sendo comprovado nesse estudo com a diminuição da respiração nos horizontes C e Cr.

Nesse contexto, os parâmetros microbiológicos de biomassa microbiana, respiração basal, quociente metabólico se comportaram mostrando sensibilidade às alterações impostas no solo do núcleo de vegetação. Esses três parâmetros foram significativamente influenciados pelas condições degradantes do P2 comparado ao P1.

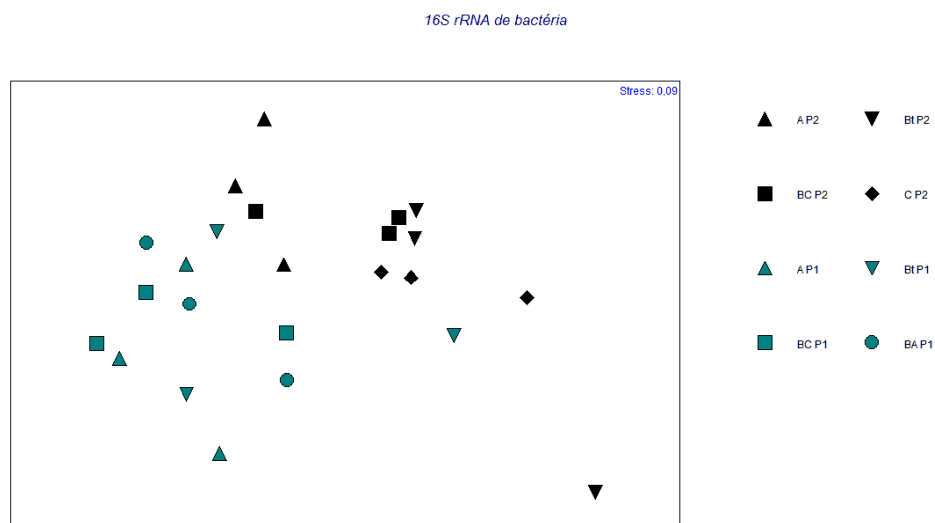
#### **4.4.2 Estrutura da comunidade microbiana de bactéria total e fungo**

A diversidade microbiana pode ser definida por diversas formas incluindo critérios filogenéticos, metabólicos e genômicos (KELLER; ZENGLER, 2004). As técnicas baseadas em biologia molecular, aplicadas neste estudo, permitiram detectar a presença das bactérias totais e fungos e o perfil da estrutura da comunidade no P1 e no P2.

A técnica de DGGE consegue desenvolver uma alta resolução em que possibilita um grande número de amostras serem rapidamente comparadas relevando a dinâmica de comunidades microbianas (MUYZER; SMALLA, 1998). Por meio dessa técnica, também é possível determinar alterações na estrutura de uma comunidade de fungos e bactérias em amostras diferentes, permitindo a comparação rápida e de baixo custo da estrutura dessas

comunidades do solo (MUYZER; WAAL; UITTERLINDEN, 1993; VAN ELSAS et al., 2000; ANDERSON et al., 2003; VALÁSKOVÁ; BALDRIAN, 2009).

O perfil da comunidade de bactérias totais (16S rRNA) foi determinado e Análise de escala multidimensional (NMDS) (Figura 14). A NMDS baseia-se na representação gráfica das amostras comparando as distâncias entre elas com as suas respectivas (di) similaridades, e avaliando a relação entre essas medidas por meio da regressão linear. A confiabilidade da regressão é dada pelo seu nível de *estresse*. De acordo com Clarke (1993) valores de estresse  $>0,20$  (não se agrupam, totalmente randômicos),  $< 0,15$  (boa separação, com alguma sobreposição),  $<0,10$  (separação ideal, grupos totalmente diferentes). Para o presente trabalho o nível de *estresse* aplicado para bactérias totais no P1 e P2 é de 0,09, ou seja, grupos totalmente separados, a comunidade da bactéria do perfil 1 é diferente da comunidade do perfil 2. A NMDS obtida pela presença ou ausência de bandas indicou no P1 que as estruturas das comunidades de bactérias são diferentes em profundidade. Já o P2 as estruturas são mais parecidas em profundidade.



**Figura 14.** Análise de escala multidimensional (NMDS) obtida a partir da DGGE (Eletroforese de gel em gradiente desnaturante) do P1 (condição irrigada sob cultivo) e P2 (condição de caatinga degradada) de bactéria total 16S, no município de Belém de São Francisco-PE

Complementando o NMDS, a ANOSIM (Teste de Pairwise) foi aplicada (Tabela 7) com o objetivo de discriminar os horizontes, testando as diferenças entre os valores médios de similaridade entre as amostras de uma mesma área estudada (P1 irrigado associado ao cultivo e P2 em condição de caatinga degradada). Nessa análise, o teste indicou um R global de 0,349 para as duas áreas, indicando uma separação com sobreposição.

Na Tabela 7 encontram-se os resultados do teste Pairwise baseado nos perfis de amplicons do gene 16s rRNA dos horizontes da área irrigada associada ao cultivo e a área não irrigada com caatinga degradada. Interpretam-se os valores de  $R > 0,75$  como indicativos de grupos bem separados;  $R > 0,5$  como grupos com sobreposição, mas claramente diferenciados e  $R < 0,25$  como grupos pouco separados, de acordo com o manual do programa Primer5 (CLARKE; GORLEY, 2001). Avaliando os valores de A P2, C P2; BC P2, Ap P1; C P2, Ap P1; C P2, BC P1 e C P2, BA P1 (comparando os dois horizontes das linhas), as comunidades são estatisticamente diferentes. Analisando os valores de A P2, Ap P1; A P2, BC P1; Bt P2, Ap P1; Bt P2, BC P1; Bt P2, BA P1; BC P2, BC P1; BC P2, BA P1 (comparando os dois horizontes das linhas), as comunidades entre os horizontes são diferentes com grupos com sobreposição. Por fim, o valor de BC P2, C P2 a comunidade presente em BC é muito similar com o que está em C, ou seja, são nichos muito semelhantes.

Tabela 7. Resultado do teste Pairwise baseado nos perfis de amplicons do gene 16sS rRNA do P1 (condição irrigada sob cultivo) e P2 (condição de caatinga degradada), no município de Belém de São Francisco-PE

Horizontes	Teste <i>Pairwise</i> ( $P < 0,1$ )	Nível de significância (%)
A P2, Bt P2	0,481	10
A P2, C P2	0,852	10
A P2, Ap P1	0,701	10
A P2, BC P1	0,556	10
Bt P2, Ap P1	0,611	10
Bt P2, BC P1	0,648	10
Bt P2, BA P1	0,574	10
BC P2, C P2	0,259	10
BC P2, Ap P1	0,815	10
BC P2, BC P1	0,704	10
BC P2, BA P1	0,704	10
C P2, Ap P1	1	10
C P2, BC P1	0,815	10
C P2, BA P1	1	10

De acordo com os resultados apresentados (Figura 14), é possível concluir que, mesmo se tratando de condições iguais de relevo, material de origem e ordem do solo, fica claro a existência de uma nova comunidade de bactérias no P1, ou seja, o manejo com irrigação associado ao cultivo é determinante para uma comunidade de bactérias diferente do perfil de

referência. Trabalhos avaliados no semiárido concluem que em condições mais úmida (caso do perfil 1) e em condição seca (caso do perfil 2) contribuem para duas estruturas comunitárias microbianas diferentes (KAVAMURA et al., 2013; LANÇONI et al., 2013). Durante o período seco, as comunidades bacterianas são dominadas por Actinobacteria, enquanto que durante uma maior umidade são dominados por Proteobacteria (KAVAMURA et al., 2013). O que pode estar contribuindo para essa nova comunidade microbiana no P1 é que as comunidades microbianas presentes em solos secos (caso do perfil 2) tornam-se ativas e mudam consecutivamente suas composições com a presença da água (KAVAMURA et al., 2013, BARNARD et al., 2013).

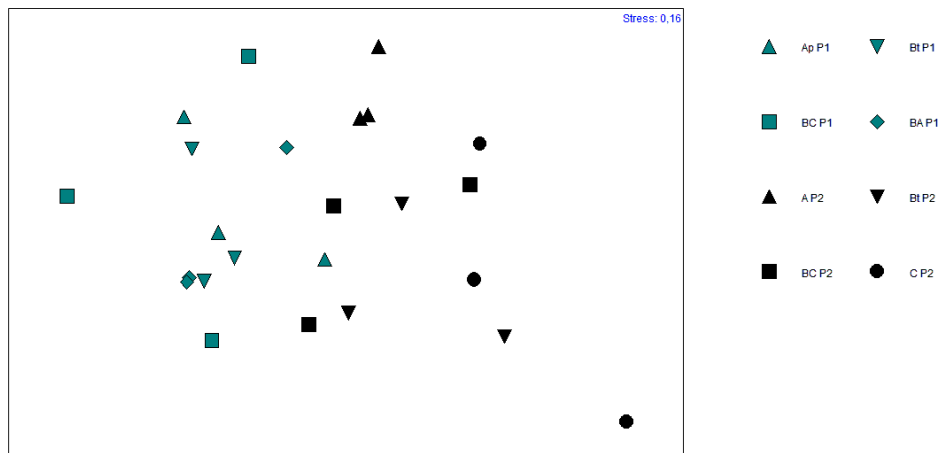
Estudo direcionado a grupos de bactérias foi reportado que o uso da terra pode influenciar na alteração indireta das estruturas dessas comunidades, através das modificações das propriedades do solo promovidas por meio de mudanças nas práticas de manejo (JESUS et al., 2009). Outro ponto a se avaliar é a que a presença de espécies de plantas no ambiente afeta a presença de micro-organismos no solo (WIELAND; NEUMANN; BACKHAUS, 2011). Dessa forma, as espécies de plantas podem ser consideradas decisivas para a estrutura das comunidades microbianas no solo, uma vez que são elas as principais fornecedoras de carbono sob formatos específicos à microbiota presente no ambiente (GARBEVA; van VEEN; van ELSAS, 2004).

A DGGE permitiu inferir que temos no perfil irrigado estrutura de comunidades distintas em profundidade e a presença de uma nova comunidade e provavelmente com funções também diferentes entre elas. Assim como, no perfil de referência estruturas de comunidades mais semelhantes em profundidade.

No entanto, apenas a identificação por técnicas de sequenciamento dos amplicons em questão poderá trazer informações mais específicas acerca desses micro-organismos.

Em relação ao perfil da comunidade de fungos (18S rRNA) também foi determinado e Análise de escala multidimensional (NMDS) (Figura 15 ). A confiabilidade da regressão é dada pelo seu nível de *estresse*. De acordo com Clarke (1993) valores de estresse  $>0,20$  (não se agrupam, totalmente randômicos),  $< 0,15$  (boa separação, com alguma sobreposição),  $<0,10$  (separação ideal, grupos totalmente diferentes). Para o presente trabalho o nível de estresse aplicado para fungos no P1 e P2 é de 0,16, ou seja, está limite para uma separação, mas existe uma sobreposição dentre os dois perfis. Logo para 18S a representação bidimensional é válida, porém não totalmente nítida quanto às separações dos perfis. A NMDS obtida pela presença ou ausência de bandas indicou no P1 que as estruturas das comunidades de fungos são mais semelhantes em profundidade. Já o P2 as estruturas não são tão parecidas em profundidade.

18S rRNA fungo P1 e P2



**Figura 15.** Análise de escala multidimensional (NMDS) obtida a partir da DGGE (Eletroforese de gel em gradiente desnaturante) do P1 (condição irrigada sob cultivo) e P2 (condição de caatinga degradada) de fungo 18S, no município de Belém de São Francisco-PE

Complementando o NMDS, a ANOSIM (Teste de Pairwise) foi aplicada (Tabela 8) com o objetivo de discriminar os horizontes, testando as diferenças entre os valores médios de similaridade entre as amostras de uma mesma área estudada (P1 irrigado associado ao cultivo e P2 em condição de caatinga degradada). Nessa análise, o teste indicou um R global de 0,395 para as duas áreas, ou seja, mostrou separação com sobreposição.

Na Tabela 8 encontram-se os resultados do teste Pairwise baseado nos perfis de amplicons do gene 18s rRNA dos horizontes da área irrigada associada ao cultivo e a área não irrigada com caatinga degradada. Interpretam-se os valores de  $R > 0,75$  como indicativos de grupos bem separados;  $R > 0,5$  como grupos com sobreposição, mas claramente diferenciados e  $R < 0,25$  como grupos pouco separados, de acordo com o manual do programa Primer5 (CLARKE; GORLEY, 2001). Analisando os valores de Bt P1, A P2; Bt P1, C P2; BC P1, C P2; BA P1, C P2; A P2, BC P2, apresentaram valores de pairwise  $> 0,75$ , ou seja, cada horizonte tem sua comunidade que não é compartilhada com o outro. Valores de Ap P1, A P2; Ap P1, BC P2; Ap P1, C P2; Bt P1, Bt P2; Bt P1, BC P2; A P2, Bt P2 e A P2, C P2, assumem que as comunidades entre os horizontes são diferentes com grupos com sobreposição.

Tabela 8. Resultado do teste Pairwise baseado nos perfis de amplicons do gene 18s rRNA do P1 (condição irrigada sob cultivo) e P2 (condição de caatinga degradada), no município de Belém de São Francisco-PE

Horizontes	Teste <i>Pairwise</i> ( $P < 0,1$ )	Nível de significância (%)
Ap P1, A P2	0,722	10
Ap P1, BC P2	0,611	10
AP P1, C P2	0,667	10
Bt P1, A P2	1	10
Bt P1, Bt P2	0,648	10
Bt P1, BC P2	0,556	10
Bt P1, C P2	0,926	10
BC P1, A P2	0,352	10
BC P1, Bt P2	0,315	10
BC P1, C P2	0,778	10
BA P1, A P2	0,704	10
BA P1, Bt P2	0,463	10
BA P1, C P2	0,833	10
A P2, Bt P2	0,556	10
A P2, BC P2	0,815	10
A P2, C P2	0,630	10
BC P2, C P2	0,500	10

Dentro do domínio Eukarya, o Reino Fungi possui uma enorme diversidade. Os fungos apresentam vários sistemas de sobrevivência nos mais diferentes ambientes, tolerando até condições extremas. A presença e o desenvolvimento dos fungos são capazes de influenciar na composição das comunidades de plantas e em processos chaves para o funcionamento dos ecossistemas (SMITH et al., 1997; HAWKSWORTH, 2001; VAN DER HEIJDEN et al., 2008).

Avaliando o resultado do NMDS (Figura 15), é possível concluir que em mesma condição de solo, relevo e material de origem entre os dois perfis estudados, o P1 apresenta uma nova comunidade microbiana diferente do P2, da mesma forma que aconteceu para as bactérias. Dessa forma, é possível concluir que o manejo da irrigação associado ao cultivo foi determinante para a presença dessa nova comunidade.

Estudos relacionados com a simbiose do fungo micorrízico concluem que ocorre um aumento da capacidade das plantas de se estabelecerem e lidarem com situações de estresse, como deficiência de nutrientes, seca e perturbação do solo (BLANKE et al., 2011, CAVAGNARO et al., 2012). Os fungos micorrízicos arbusculares desempenham um papel importante na promoção do crescimento das raízes e na facilitação do desempenho das plantas

em ambientes de seca (AZCÓN et al., 2013, LIU et al., 2007). Plantas nativas de regiões áridas e semiáridas geralmente apresentam altos níveis de colonização por fungos no sistema radicular, indicando considerável relevância das simbioses para o desempenho das plantas sob estresse hídrico (TCHABI et al., 2008, WORCHEL et al., 2013). Estudos também mostraram que micélios extra radicais de fungos micorrízicos arbusculares transferem água para suas plantas hospedeiras sob condições de baixa umidade do solo e que esses fungos melhoram o crescimento, desenvolvimento e produção de plantas (KHALVATI et al., 2005; LIU, CHEN, 2007; MARULANDA et al., 2003). Por outro lado, estresses edáficos, como déficit hídrico e desequilíbrio solo-nutriente, afetam a diversidade e abundância desses fungos em regiões áridas e semiáridas (CARTMILL et al., 2008). Por exemplo, Simpson e Daft (1990) descobriram que o estresse hídrico reduziu significativamente a produção de esporos de fungos micorrízico arbusculares. Assim, a relação água-fungo micorrízico arbuscular é de grande importância para a agricultura de sequeiro.

Estudos realizados por Kumar e Garampalli (2013) concluíram que a irrigação aumentou a colonização por fungos micorrízicos arbusculares e a abundância de esporos em dois agroecossistemas na Índia. Outras pesquisas também mostram que espécies hospedeiras, crescimento e desenvolvimento de plantas podem influenciar a esporulação de fungos micorrízico arbusculares (SIMPSON; DAFT, 1990). Dessa forma, a irrigação associada ao cultivo no P1, pode ter contribuído para o surgimento de uma nova comunidade no perfil irrigado, ou seja, fungos que se apresentavam em fase vegetativa ou de esporos no perfil 2, com a presença da água e da cultura local contribuiu para que esses fungos passassem para forma ativa.

Outro ponto a se avaliar, é que o fungo responde muito bem ao carbono da biomassa microbiana do solo. Como visto na Figura 13, no perfil irrigado, mais especificamente no horizonte Ap, a biomassa microbiana obteve valores altos o que pode estar associado a adubação que é feita no local com NPK, ureia e sulfato de potássio que, além de contribuir para o aumento dessa biomassa microbiana no solo, comprovados em estudo (JIA et al., 2010, WANG et al., 2009), está contribuindo para o surgimento de uma nova comunidade em P1.

A DGGE permitiu inferir que temos no perfil irrigado estrutura de comunidades semelhantes em profundidade, presença de uma nova comunidade não existente em P2 e provavelmente com funções também diferentes entre elas. No perfil de referência estruturas de comunidades não apresentaram similaridade em profundidade.

No entanto, apenas a identificação por técnicas de sequenciamento dos amplicons em questão poderá trazer informações mais específicas acerca desses micro-organismos.

#### 4.5 Classificação dos solos pelo sistema brasileiro (SiBCS)

O perfil 1 foi classificado no primeiro nível categórico (ordem) como Luvissole, por atender os seguintes critérios: Compreendem solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B textural, apresentando argila de atividade alta e saturação por base alta, imediatamente abaixo de horizonte A ou horizonte E. Esses solos variam de bem a imperfeitamente drenados, sendo normalmente pouco profundos, com sequência de horizontes A, Bt e C e nítida diferenciação entre os horizontes A e Bt devido ao contraste de textura, cor e/ou estrutura entre eles. A transição para o horizonte B textural é clara ou abrupta. No segundo nível categórico (subordem) foi classificado como Crômico, por apresentar cor vermelha. No terceiro nível categórico (grandes grupos) foi avaliado como Órtico por não se enquadrar em outras classes. No quarto nível categórico (subgrupos) é considerado vertissólico, pois apresenta caráter vértico, ou seja, presença de *slickensides* e fendas. Sendo assim o solo foi classificado como LUVISSOLO CRÔMICO Órtico vertissólico.

O perfil 2 possui as mesmas características que o perfil 1 até o terceiro nível. Entretanto, diferencia-se do perfil 1, por apresentar CE acima de  $7 \text{ dS m}^{-1}$  e  $\text{PST} > 15\%$  dentro de 100 cm de profundidade. Logo, esse solo foi classificado como LUVISSOLO CRÔMICO Órtico sódico vertissólico sálico. Por não estar ordenado no sistema, solo com caráter sálico e sódico ao mesmo tempo e como é permitido se colocar até três características no quarto nível categórico, se ordenou dessa maneira dar prioridade taxonômica ao caráter sódico em relação ao caráter sálico, uma vez que o caráter sálico pode ser facilmente alterado com o manejo. Entretanto, por se tratar de características já utilizadas em outras ordens em terceiro nível, sugere-se a criação do grande grupo dos Luvissoles órticos sódicos e do grande grupo dos Luvissoles órticos sálicos, em função de em outras ordens como, por exemplo, os neossolos flúvicos, já se ter separado em terceiro nível categórico o caráter sódico assim como o sálico, sugere também para essa ordem do presente estudo.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados expostos indicam que a água do rio São Francisco é livre de salinidade e sodicidade, lavando o P1 e contribuindo para o processo de solodização. Já o P2 apresenta caráter sálico, desenvolvendo o processo de salinização e o de solonização.



A mineralogia da argila apresenta uma alteração clara entre o P1 e P2, com a presença da illita e posterior ausência no perfil irrigado indicando possível alteração. A mineralogia da areia corrobora que trata-se do mesmo material de origem.

Foi observado que a irrigação associada ao cultivo contribui positivamente para o índice de manejo de carbono, sendo maior 33% em relação ao perfil de referência.

O carbono orgânico total não foi tão significativo no perfil 1, porém foi constatado no estoque de carbono que em profundidade ele é preservado e em valores maiores que o perfil de referência.

As estruturas das comunidades microbianas se comportaram diferente do que se esperava. Em condição de irrigação associado ao cultivo as bactérias não apresentaram similaridade entre suas estruturas em profundidade, já os fungos se comportaram de forma contrária. Tanto fungos quanto bactérias, apresentaram uma nova comunidade no perfil irrigado associado ao cultivo.

## REFERÊNCIAS

AB'SABER, A.N. **Sertões e sertanejos: uma geografia humana sofrida** Estudos Avançados, Universidade de São Paulo, Instituto de Estudos Avançados, São Paulo, p. 7-68, 1999.

ABARES. Australian Agricultural Productivity Growth: Past Reforms and Future Opportunities. **Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics and Sciences**, Canberra, 2014.

ADRIANO, D. C.; DONER, H. E. Bromine, chlorine and Fluorine. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H. e KEENEY, D. R. (Ed). *Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties*. 2ª ed. American Society of Agronomy - **Soil Science Society of America**, Madison, v. 2, p. 449-483, 1982.

AGNELLI, A.; ASCHER J.; CORTI, G.; CECCHERINI, M.T.; NANNIPIEI, P.; PIETRAMELLARA, G. Distribution of microbial communities in a forest soil profile investigated by microbial biomass. Soil respiration and DGGE of total and extracellular DNA. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 36, p. 859-868, 2004.

ALEXANDRATOS, N.; BRUINSMA, J. **World Agriculture Towards 2030/2050: The 2012 Revision**. ESA Working Paper No. 12-03. FAO, Roma, 2012.

ANA (National Water Agency) Conjuntura de recursos hídricos no Brasil **Informe ANA**, Brasília-DF, 2012.

ANDERSON, D. Solonetzic soils of the Prairie region. **PS&C Prairie Soils & Crops Journal**, Saskatoon, v.3, p. 65-72, 2010.

ARAGÜÉS, R. ; MEDINA, E.T.; ZRIBI, W.; CLAVERÍA, I.; ÁLVARO-FUENTES, J.; FACI, J. Soil salinization as a threat to the sustainability of deficit irrigation under present and expected climate change scenarios. **Irrigation Science**, Switzerland., v. 33, p. 67-79, 2014.

ARAÚJO FILHO, J.C.; BURGOS, N.; LOPES, O.F.; SIILVA, F. H. B. B.; MEDEIROS, L. A. R ; MELO FILHO, H. F. R; PARAHYBA, R. B. V ; CAVALCANTI, A. C.; OLIVEIR NETO, M. B.; SILVA, F. B. R. ; LEITE, A. P. ; SANTOS, J. C. P. ; SOUSA NETO, N. C.; SILVA, A. B.; LUZ, L. R. Q. P. ; REIS, R. M. G.; BARROS, A. H C . Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do Estado de Pernambuco (escala 1:100.000). **Embrapa Solos**, Rio de Janeiro, (Publicação da Embrapa Solos (Boletim de Pesquisa, 11), 2000.

ARAÚJO FILHO, R. N.; FREIREA, M. B. G. S.; WILCOXB, B. P; JASON BROSSARD WESTB, J. B; FREIREA, F. J.; FLÁVIO ADRIANO MARQUESC, F. A. Recovery of carbon stocks in deforested caatinga dry forest soils requires at least 60 years. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 407, p. 210-220, 2018.

ARAÚJO FILHO, R. N.; FREIREA, M. B. G. S.; WILCOXB, B. P; JASON BROSSARD WESTB, J. B; FREIREA, F. J.; FLÁVIO ADRIANO MARQUESC, F. A. Recovery of carbon stocks in deforested caatinga dry forest soils requires at least 60 years. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 407, p.210-220, 2018.

ARAÚJO, E.V.; MARIA DO SOCORRO, B.A.; SAMPAIO, Y.S. Impactos ambientais da agricultura no processo de desertificação no Nordeste do Brasil. **Revista de Geografia**, Recife, v. 22, p. 90-112, 2008

ASCHER, J.; CECCHERINI, M. T.; CHROŇÁKOVÁ, A.; JIROUT, J.; BORGOGNI, F.; ELHOTTOVÁ, D.; ŠIMEK, M.; PIETRAMERALLA, G. World evaluation of the denaturing gradient gel electrophoresis apparatus as a parameter influencing soil microbial community fingerprinting. **Journal of Microbiology Biotechnology**, Oxford, v. 26, n. 9, p. 1721-1726, 2010.

ASHMAN, M. ; G. PURI. **Essential Soil Science: A Clear and Concise Introduction to Soil Science**. Wiley-Blackwell, Hoboken, 2013.

AUSTIN, A.T.; VIVANCO, L. Plant litter decomposition in a semiarid ecosystem controlled by photodegradation. **Nature**, Londres, v. 442, p. 555-558, 2006.

AZCÓN R; MEDINA A.; AROCA R.; RUIZ-LOZANO J.M. Abiotic stress remediation by the arbuscular mycorrhizal symbiosis and rhizosphere bacteria/yeast interactions. **Molecular Microbial Ecology of the Rhizosphere**, London, v.2, p. 93-104, 2013.

AZEVEDO; A.C.; VIDAL-TORRADO, P. Esmectita, vermiculita, minerais com hidróxi entrecamadas e clorita. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F., eds. **Química e mineralogia do solo: Parte I - Conceitos básicos**. Viçosa, v. 6, p. 381-426, 2009

BADGERY, W. ; SIMMONS, A.; MURPHY, B. ; RAWSON, A. ; ANDERSSON, K. ; LONERGAN, V. ; VAN DE VEN R. Relationship between environmental and land use variables on soil C levels at the regional scale in Central NSW, Australia. **Soil and Research**, Ganglok, v. 51, p. 645-656, 2013.

BALDOCK, J.A.; MASIELLO, C.A. ; GELINAS, Y.; HEDGES, J.I. Cycling and composition of organic matter in terrestrial and marine ecosystems. **Marine Chemistry**, Florida, v. 92 , p. 39-64, 2004.

BALDOCK, J.A.; SKJEMSTAD, J.O. Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. **Organic Geochemistry**, Oxford, v. 31, p. 697-710, 2000.

BANGERK.; KUKAL, S.S.; TOOR, G.; SUDHIR,K.; HANUMANTHRAJU, T.H. Impact of long-term additions of chemical fertilizers and farm yard manure on carbon and nitrogen sequestration under rice-cowpea cropping system in semi-arid tropics. **Plant Soil**, Crawley, v. 318, p. 27-35, 2009.

BARNARD, R.L; OSBORNE, C.A.; FIRESTONE, M.K. Responses of soil bacterial and fungal communities to extreme desiccation and rewetting. The ISME Journal Multidisciplinary **Journal of Microbial Ecology**, London, p. 229-241, 2013. Disponível em: doi:10.1038/ismej.2013.104.

BARROS, M. F. C.; FONTES, M. P. F.; ALVAREZ V.; RUIZ, V. H. Aplicação de gesso e calcário na recuperação de solos salino-sódicos do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 9, p. 320-326, 2005.

BARTH, F.T. **Modelos para gerenciamento de recursos hídricos**. Nobel-ABRH (Brazilian Water Resource Association), São Paulo, p. 67, 1987.

BASTIDA, A.; ZSOLNAY, T.; HERNÁNDEZ, C.; GARCÍAPAST. Present and future of soil quality indices: a biological perspective. **Geoderma**, Amsterdam, v. 147, p. 159-171, 2008.

BECK, L.; ROUSSELIE`RE, H.; CASTAING, J.; DURAN, A.; LEBON, M.; MOIGNARD, B.; PLASSARD, F. First use of portable system coupling X-ray diffraction and X-ray fluorescence for in-situ analysis of prehistoric rock art. **Talanta**, Amsterdam, v. 129, p. 459-464, 2014.

BIRD,S.B. ; HERRICK, J.E.; WANDER, M.M.; MURRAY, L. Multi-scale variability in soil aggregate stability: implications for understanding and predicting semi-arid grassland degradation. **Geoderma**, Amsterdam, v. 140, p. 106-118, 2007.

BLAIR, G.J.; LEFROY, R.D.B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research** , Queensland, v. 46, p. 1459-1466, 1995.

BLANCO-MOURE, N.; GRACIA, R.; BIELSA, A.C.;VICTORIA LÓPEZ, M. Soil organic matter fractions as affected by tillage and soil texture under semi-arid Mediterranean conditions. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.155, p. 381-389, 2016.

BLANKE V.; WAGNER M.; RENKER C.; LIPPERT H.; MICHULITZ M; KUHN A.J. Arbuscular mycorrhizas in phosphate-polluted soil: interrelations between root colonization and nitrogen. **Plant Soil**, Crawley, v. 343, p. 379-392, 2011.

BNB - Banco do Nordeste do Brasil. **Proposta de dimensionamento do semiárido brasileiro**. Fortaleza. p. 8, 2005.

BOHN, H.L. ; McNeal, G.A. O'Connor **Soil Chemistry** (3rd edition), **John Wiley and Sons**, New York, p. 322, 2012.

BOURGEON, G. Les “sols rouges” de l'Inde péninsulaire méridionale: pédogenèse fersiallitique sur socle cristallin en milieu tropical, **Publications du département d'écologie de l'IFP**, Pondichéry, v. 31, p. 245-262, 1992.

BRADY, N.C. ; WEIL, R.R. **The Nature and Properties of Soils**. Prentice Hall, p. 48-89, 2008.

BREMAN, H.; KESSLER, J.J. The potential benefits of agroforestry in the Sahel and other semi-arid regions. **European Journal of Agronomy**, Conthey, p. 25-33, 1997.

BREMER Boden und relief in den tropen: grundvorstellungen und datenbank. **Paläoklima**, Boden, v.11, 1995.

BRITO, S.S.B., CUNHA, A.P.M.A., CUNNINGHAM, C.C., ALVALÁ, R.C., MARENGO, J.A., CARVALHO, M.A.. Frequency, duration and severity of drought in the Semiarid Northeast Brazil region. **International Journal of Climatology**. London, v. 38, p. 244-256, Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/joc.5225>.

BROOKES, P. C. The soil microbial biomass: concept, measurements and applications in soil ecosystem research. **Microbes and Environment**, Tsukuba, v. 16, p. 131- 140, 2001.

BROOKES, P. C. The soil microbial biomass: concept, measurements and applications in soil ecosystem research. **Microbes and Environment**, Tsukuba, Ibaraki, v. 16, p. 131- 140, 2001.

BROWN, G.; BRINDLEY, G.W. **X-ray Diffraction Procedures for clay mineral Identification**. In: BRINDLEY, G.W; BROWN, G. London, v. 5, p. 305-360, 1980.

BUI, E.N. Soil salinity : a neglected factor in plant ecology and biogeography. **Journal Arid Environments.**, Devon, v.92, p. 14-25, 2013.

BURNEY, J.A; NAYLOR, R.L.; POSTEL, S.L. The case for distributed irrigation as a development priority in sub-Saharan Africa. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, PNAS**, v. 110, p. 12513-12517, 2013.

BURNEY, J.; CESANO, D.; J. RUSSELL, LÈVRE, L.A.; ROVERE E.; CORRAL, T.; COELHO, N.S.; SANTOS, L. Climate change adaptation strategies for smallholder farmers in the Brazilian Sertão. **Climatic Change**, Toronto, v. 126, p. 45-59, 2014.

CANELLAS, L.P. ; ESPÍNDOLA, J.A; GUERRA, J.G.M; TEIXEIRA M.G.; VELLOSO A.C.X.; RUMJANEK, V.M. Phosphorus analysis in soil under herbaceous perennial leguminous cover by nuclear magnetic spectroscopy. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 39, p. 589-596. 2014.

- CARTMILL A.D.; VALDEZ-AGUILAR L.A.; BRYAN D.L.; ALARCÓN A. Arbuscular mycorrhizal fungi enhance tolerance of vinca to high alkalinity in irrigation water. **Scientia Horticulturae**, British Columbia, p. 275-284, 2008.
- CARVALHO, J.L.N.; CERRI, C.E.P.; FEIGEL, B.J.; PICCOLO, M.C.; GODINHO, V.P.; CERRI, C.C. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazil Amazon. **Soil and Tillage Research**, Gangtok, v. 103, p. 342-349, 2009.
- CASSEL, F.; GOORAHOO, D.; SHARMASARKAR, S. Salinization and yield potential of a salt-laden Californian soil: an in situ geophysical analysis. **Water Air Soil Pollution**, Berlin, v. 226., p. 422, 2015.
- CAVAGNARO T.R.; BARRIOS MASIAS F.H.; JACKSON L.E. Arbuscular mycorrhizas and their role in plant growth, nitrogen interception and soil gas efflux in an organic production system. **Plant Soil**, Crawley, v. 353, p. 181-194, 2012.
- CEBRON, A.; BEGUIRISTAIN, T.; BONGOUA-DEVISME, J.; DENONFOUX, J.; FAURE, P.; LORGEUX, C.; OUVARD, S.; PARISOT, N.; PEYRET, P.; LEYVAL, C. Impact of clay mineral, wood sawdust or root organic matter on the bacterial and fungal community structures in two aged PAH-contaminated soils. **Environmental Science Pollution Research**, Berlin, v. 22, p. 13724-13738, 2015.
- CELIK. Land-use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of Turkey. **Soil Tillage Research**, Gangtok, v. 83, p. 270-277, 2015.
- CENACCHI, N. Drought risk reduction in agriculture: A review of adaptive strategies in East Africa and the Indo-Gangetic plain of South Asia. **International Food Policy Research Institute (IFPRI)**, discussion Paper, v. 23, p. 1372, 2017.
- CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA - CEPEA-USP-CNA, 2015. **PIB do Agronegócio: 1995-2015**. São Paulo. Disponível em: <http://cepea.esalq.usp.br/pib/>.
- CHABBI, I.; KÖGEL-KNABNER.; RUMPEL, C. Stabilized carbon in subsoil horizons is located in spatially distinct parts of the soil profile. **Soil Biology and Biochemistry**., Vienna, v. 41, p. 256-271, 2009.
- CHENG, Y.Q. ; YANG, L.Z.; CAO, Z.H. ; CI, E. ; YIN, S.X. Chronosequential changes of selected pedogenic properties in paddy soils as compared with non-paddy soils. **Geoderma**, Amsterdam, v. 151, p. 31-41, 2011.
- CHIVENGE, P. ; VANLAUWE, B. ; GENTILE, R.; SIX, J. Comparison of organic versus mineral resource effects on short-term aggregate carbon and nitrogen dynamics in a sandy soil versus a fine textured soil . **Agriculture Ecosystems Environment**, Enschede, v. 140, p. 361-371, 2011.
- CLARKE, K.R. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. **Austral Ecology**, Malden, v. 18, n. 1, p. 117-143, 1993.

CLARKE, K.R.; GORLEY, R.N. **PRIMER 6.0: User Manual/Tutorial. PRIMER-E**, Plymouth, p. 65, 2006.

Commonwealth of Australia **Agricultural Competitiveness Issues Paper**. Sidney, 2014.

CORNELL, R.M. ; SCHWERTMANN, U. **The Iron Oxides**. Weinheim, 2003.

CORNELL, R.M. ; U. SCHWERTMANN **The Iron Oxide VCH-** Verlagsgesellschaft, Weinheim, 1996.

CORREA, R. M.; NASCIMENTO, C. W. A. Adsorção de fósforo em dez solos do estado de Pernambuco e suas relações com parâmetros físicos e químicos. **Acta Sci., Agron.**, Maringá, vol.33, n.1, pp.153-159, 2011. Disponível em:  
<<http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v33i1.3129>>.

CORRÊA, R.M.; FREIRE, M.B.G. dos S.; FERREIRA, R.L.C.; FREIRE, F.J.; PESSOA, L.G.M.; MIRANDA, M.A.; MELO, D.V.M. Atributos químicos de solos sob diferentes usos em perímetro irrigado no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n.2, p. 305-314, 2009.

CORRÊA, R.M.; FREIRE, M.B.G.S.; FERREIRA, R.L.C.; SILVA, J.A.A.; PESSOA, L.G.M.; MIRANDA, M.A.; MELO, D.V.M. Atributos físicos de solos sob diferentes usos com irrigação no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental.**, Campina Grande, p. 358-365, 2010.

COWIE, A.L. , W. BADERY, G. SCHWENKE, B. WILSON, V. LONERGAN, M. MACLEOD, A. SIMMONS **The Potential for Agricultural Management to Increase Soil Carbon in NSW. Final Research Report SCARP-NSW. Soil Carbon Research Program UNE-NSW DPI, NSW**, Sidney, p. 59, 2012.

BELTRÃO, B. A.; MASCARENHAS, J. C.; MIRANDA, J. L. F.; SOUZA JUNIOR, L. C.; GALVÃO, M. J. T. G.; PEREIRA, S. N. CPRM - Serviço Geológico do Brasil Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Belém de São Francisco, estado de Pernambuco. **CPRM/PRODEEM**, Recife, p. 11, 2005.

CULMAN, S.W. ; SNAP, S.S.; FREEMAN, M.A.; SCHIPANSKI, M.E.; BENISTON, J.; LAL, L.E.; DRINKWATER, A.J.; FRANZLUEBBERS, J.D.; GLOVER, A.S.; GRANDY, J.; LEE, J. ; SIX, J.E.; MAUL, S.B.; MIRKSY, J.T. ; SPARGO, M.M. WANDER. Permanganate oxidizable carbon reflects a processed soil fraction that is sensitive to management. **Soil Science Society of America Journal.**, Madison, v. 76, p. 494-504, 2012.

CUNHA, E. D. Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. D. B.; DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A. A.; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho: II - atributos biológicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 603-611, 2011.

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. **Australian Journal of Soil Research.**, Clayton South, v.24, pp. 281-292. 1986.

DALIN, C.; QIU, N.; HANASAKI. Balancing water resources conservation and food security in China. **Proceedings of the National Academy Sciences of the United States of America.**, Washington, v.112, p. 4588-4593, 2015.

DAVY, M.C. ; KOEN, T.B. Variations in soil organic carbon for two soil types and six land uses in the Murray catchment. **Soil Research.**, New South Wales, v.51, p. 631-644, 2013.

DE BRUIJN, F.J. Molecular Microbial Ecology of the Rhizosphere., v.1 & 2, p. 991-1002, 2013.

DEXTER, A.R. Soil physical quality preface **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 79, p. 129-130, 2004.

Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. **Department of Agriculture**, Washington, p. 160, 1954.

DICK, W.A. ; TABATABAI, M.A. Significance and potential uses of soil enzymes F.J. Blain (Ed.), **Soil Microbial Ecology Application in Agricultural and Environmental Management**, Marcel Dekker, New York, p. 95-127, 1993.

DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J. ; KNICKER, H. ; BAYER, C. ; DICK, D.P.; KÖGEL-KNABNER, I. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilization. **Plant Soil**, Crawley, v. 268 , p. 319-328, 2005.

DONG,L.L.; YU, D.S.; ZHANG, H.D.; ZHANG, M.L. ; JIN, W.H.; LIU, Y.; SHI, X.Z. Long-term effect of sediment laden Yellow River irrigation water on soil organic carbon stocks in Ningxia, China. **Soil & Tillage Research.**, Amsterdam, v. 145, p. 148-156, 2015.

EKELUND, F.; RØNN, R.; CHRISTENSEN D. Distribution with depth of protozoa, bacteria and fungi in soil profiles from three Danish forest sites. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 33, pp. 475-481, 2001.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo.** Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2. Ed. Rio de Janeiro, p. 212, 2012.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, p. 627, 2006.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 3ª edição. Brasília, DF, 2013.

FAI (Fertilizer Association of India) (FAI) **Fertilizer statistics** Fertilizer Association of India, New Delhi, 2.ed, p. 53, 2011.

FANNING, D.S.; FANNING, M.C.B. **Soil, Morphology, Genesis, and Classification**, Nova Jersey, 2 ed, p. 65, 1987.

FARIAS, D.; OLIVEIRA, F.; SANTOS, D.; ARRUDA, J.; HOFFMANN, R.; NOVAIS, R. Fósforo em solos representativos do estado da paraíba: I- isotermas de adsorção e medidas do fator capacidade de fósforo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n.3, p.623-632. 2009. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000300015>>

FENG, J. B.L.; TURNER, X.; LÜ, Z.; CHEN, K.; WEI, J.; TIAN, C.; WANG, W.; LUO, L.; CHEN. Phosphorus transformations along a large-scale climosequence in arid and semi-arid grasslands of northern China. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v. 30, p. 1264-1275, 2016.

FERNANDEZ, R.N.; SCHULZE, D.G. Munsell colors of soils simulated by mixtures of Goethite and Hematite with kaolinite. **Zeitschrift, Pflanzenernähr**, v. 155 p. 473- 478, 1992.

FERREIRA, J. T. P.; RIBEIRO FILHO, M. R; RIBEIRO†, M.R.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; BITTAR, S. M. B.; SANTOS, R. G. Planosols Developed in Different Geoenvironmental Conditions in Northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 40, p. 202-209, 2016.

FIERER, N.; JACKSON, J.A.; VILGALYS, R.; JACKSON, R.B. Assessment of soil microbial community structure by use of taxon-specific quantitative PCR assays. **Applied Environmental Microbiology**, Washington, v. 71, p. 4117-4120, 2005.

FIGUEIRÔA, J.M.; PAREYN, F.G.C.; ARAÚJO, E.L.; DASILVA, C.E.; SANTOS, V.F.; CUTLER, D.F.; BARACAT A, A.; GASSON, P. Effects of cutting regimes in the dry and wet season on survival and sprouting of woody species from the semi-arid Caatinga of northeast Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 229, p. 294-303. 2006.

FLINT, A. L.; FLINT, L. E. Particle density. In: DANE, J. H.; TOPP. G. C. (Ed.). *Methods of soil analysis*. Madison: **Soil Science Society of America**. Madison, v. 4, p. 229-240, 2002.

FRACETTO, F.J.C. **Estoque de carbono e nitrogênio e estrutura da comunidade de diazotróficas em solos de caatinga com plantio de mamona**. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, p. 77, 2010.

FULTZ, L.M.; MOORE-KUCERA, J.; ZOBECK, T.M.; ACOSTA, V.; MARTÍNEZ, D.B.; WESTER, V.G.; ALLEN. Organic carbon dynamics and soil stability in five semiarid agroecosystems **Agriculture Ecosystems & Environment**., Amsterdam, v. 181, p. 231-240, 2013.

GEDROIZ, K.K. Colloidal chemistry as related to soil science. I. Colloidal substances in the soil solution. Formation of sodium carbonate in the soil. Alkali soil and saline soils. **Zhurnal Obitnoii Agronomii**., New York City, v.13, p. 363-420, 1912.

GEDROIZ, K.K. **Saline soils and their improvement**. **Zhurnal Obitnoii Agronomii**., New York City, v. 18, p. 122-140, 1917.



GEDROIZ, K.K. Soil absorbing complex and the absorbed soil cations as a basis of genetic soil classification. **Nosovka Agricultural Experimental Station**, Ukraine, v. 38, 1925.

GEE, G. W.; BAUDER, J. C. **Particle-size analysis**. In: Klute, A. (Ed). Methods of soil analysis, I. Physical and mineralogical methods..American Society of Agronomy, Madison. cap. 15, p. 383 -411. 1986.

GHASSEMI, F.; JAKEMAN, A.; NIX, H. Salinization of Land and Water Resources: Human Causes, Extent, Management and Case Studies, Canberra, **Australia CAB International**, Wallingford, Oxon, v. 32, p. 445-464, 1995.

GHEYI, H. R. Problemas de salinidade na agricultura irrigada. In: OLIVEIRA, T.; ASSIS, J. R.; R. N.; ROMERO, R. E.; SILVA, J. R. C. **Agricultura, sustentabilidade e o semiárido**. 1. ed. Viçosa, 2000. p. 329-345.

GHOSH, R.; BHATTACHARYYA, B.S.; DWIVEDI, M.C.; MEENA, B.K.; AGARAL, P.; MAHAPATRA, D.K.; SHAHI, R.; SALWANI, R.; AGNIHORTI. Temperature sensitivity of soil organic carbon decomposition as affected by long-term fertilization under a soybean based cropping system in a sub-tropical Alfisol. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 233, p. 202-213, 2016.

GILLMAN, C.P. Red basaltic soils in north Queensland. **Chemistry Diversity and Soils**, Austria, v. 11, p. 23-49. 1976.

GONÇALVES, F.M.; RIBEIRO, R.S.F.; COSTA, R.N.T.; BURTE, J.D. A management analysis tool for emancipated public irrigation areas using neural networks **Water Resources Management**, Amsterdam, v. 29, p. 2393-2406, 2015.

GORNALL, J. ; BETTS, R. ; BURKE, E.; CLARK, R.; CAMP, J. ; WILLETT, K.; WILTSHIRE, A. Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, Constanta, v. 365, p. 2973-2989, 2010.

GRAF, D.R.H.; JONES, C.M.; HALLIN, S. Intergenomic comparisons highlight modularity of the denitrification pathway and underpin the importance of community structure for N<sub>2</sub>O emissions. **PLoS One**, São Francisco, v.9, p. 114-118, 2014.

GRAU, H.R.; AIDE, M.T.; GASPARRI, I.N. Globalization and soybean expansion into semiarid ecosystems of Argentina. **Ambio**, New York, v.34, p. 265-266. 2005.

GRAU, R.; GASPARRI, M.; AIDE, T.M. Agriculture expansion and deforestation in seasonally dry forests of north-west Argentina. **Environment Conservation Journal.**, New Delhi, v.32, p. 140-148, 2005.

GREGORICH, E.G.; MONREAL, C.M.; CARTER, M.R.; ANGERS, D.A.; ELLERT, B. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Toronto, v.74, p. 367-385, 1974.

GUTIÉRREZ, A.A.; ENGLE, N.L.; NYS, E.D.; MOLEJÓN, C.; MARTINS, E.S. Drought preparedness in Brazil. **Weather and Climate Extremes**, Amsterdam, v.3, p. 95-106. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wace.2013.12.001>.

HALLSWORTH, E.G.; WARING, H.D. Studies in Pedogenesis in New South Wales. VIII. An alternative hypothesis for the formation of the solodized solonetz of the Pilliga district. **Journal Soil Science**, London, v. 15, p. 158-177, 1964.

HANSEN, J.W. Realizing the potential benefits of climate prediction to agriculture: issues, approaches, challenges. **Agricultural Systems**, Amsterdam, v. 74, p. 309-330, 2002.

HAWKSWORTH, D.L. The magnitude of fungal diversity: the 1,5 million species estimate revisited. **Mycology Research**, Cambridge, v. 105, p. 422-432, 2001.

HAYNES, R.J. Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 32, p. 211-219. 2000.

HAYNES, R.J. Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: an overview. **Advances in Agronomy**, Amsterdam, v. 85, p. 221-268. 2005.

HE, Y.; XU, Z.H.; CHEN, C.R.; BURTON, J.; MA, Q.; GE, Y.; XU, J.M. Using light fraction and macroaggregate associated organic matters as early indicators for management-induced changes in soil chemical and biological properties in adjacent native and plantation forests of subtropical Australia. **Geoderma**, Amsterdam, v. 147, p. 116-125. 2008.

HECK, R.J.; MERMUT, A.R. Genesis of Natriborolls (Solonetzic) in a close lake basin in Saskatchewan, Canada. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.56, pp. 842-848. 1992.

HERRERO, J.; NETTHISINGHE, A.; HUDNALL, W.H.; O. PÉREZ-COVETA. Electromagnetic induction as a basis for soil salinity monitoring within a Mediterranean irrigation district. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 405, p. 427-438. 2011.

HOBLEY, G.R.; WILLGOOSE, S.; FRISIA, G.; JACOBSEN. Stability and storage of soil organic carbon in a heavy-textured Karst soil from south-eastern Australia. **Soil Research**, New South Wales, v. 52, p. 476-482, 2014.

HOLANDA, J.S.; AMORIM, J.R.A.; FERREIRA NETO, M.; HOLANDA, A.C.; SÁ, F.V.S. Qualidade da água para irrigação. In: GHEYI, H.R.; DIAS, N.S.; LACERDA, C.F.; GOMES FILHO, E. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**, Fortaleza, p. 35 – 50, 2016.

HOLT, J. Grazing pressure and soil carbon, microbial biomass and enzyme activities in semi-arid northeastern Australia. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 5, p. 143-149, 1997.

HUANG, J.; YU, H.; DAI, A.; WEI, Y.; KANG, L. Drylands face potential threat under 2°C global warming target. **Nature Climate Change**, Austin, v. 7, p. 417-422, 2017.

HUSSAIN, I., M.A. HANJRA. Irrigation and poverty alleviation: review of the empirical evidence. **Irrigation and Drainage**, Nova Jersey, v. 53, pp. 1-15. 2004.

ICRISAT Report, **International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics** Patancheru, India, 2010.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change: Impacts, adaptation and vulnerability. In: Parry, M. L.; Canziani, O. F.; Palutikof, J. P.; van der LINDEN, P. J.; Hanson, C. E. (ed.) **Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, Cambridge University Press, Cambridge, UK, p. 976, 2007.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 79, n. 1, p. 9-16, 2000.

ISLAM, K.R; WEIL R.R. A rapid microwave digestion method for colorimetric measurement of soil organic C. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Reino Unido. v. 29 p. 15-16, 1998.

JACKSON, M. L. **Soil chemical analysis: advance Course**. 29. Ed, Madison, p. 362-390, 1975.

JACOMINE, P.K.T.; CAVALCANTI, A.C.; BURGOS, N.; PESSOA, S.C.P. Levantamento exploratório - reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco. Recife, v.2, p. 122, 1972.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A.A.; SANTOS, J.B. & VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, p. 118-127, 2008.

JANZEN, W.K.; H.C. Moss Exchangeable cations in solodized solonetz and solonetz-like soils of Saskatchewan. **Journal Soil Science**, London, v. 7, p. 203-212. 1956.

JESUS, E.D; MARSH, T.L.; TIEDJE, J.M.; MOREIRA. F.M.D. Changes in land use alter the structure of bacterial communities in Western Amazon soils. **The ISME Journal**, New York, v. 3, p. 1004-1011, 2009.

JIA, G.M.; ZHANG, P.D.; WANG, G.; CAO J.; HAN, J.C.; HUNG, Y.P. Relationship between microbial community and soil properties during natural succession of abandoned agricultural land. **Pedosphere**, Amsterdam v. 20, p. 352-360, 2010

JIANG L., Hardee K. **How do recent population trends matter to climate change?** Population Research and Policy Review., v. 30, p. 287-312, 2011.

JIANG, Q.; HU, X.F.; LI, S.; LI, Y. Difference in magnetic susceptibility of the topsoils and its environmental implication in Baoshan and Qingpu districts, Shanghai. **Chinese Journal Soil Science**, London, v. 43, p. 774-780. 2012.

JIMÉNEZ-ESPINOSA, R.; VÁSQUEZ, M.; JIMÉNEZ-MILLÁN, J. Differential weathering of granitic stocks and landscape effects in a Mediterranean climate, Southern Iberian Massif (Spain). **Catena**, New York, v. 70, p. 243-252, 2007.

KÄMPF, N.; CURI, N. Óxidos de ferro: Indicadores de ambientes pedogênicos. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R., eds. **Tópicos em ciência do solo**, Viçosa, v.1, p.107-138, 2000.

KÄMPF, N.; SCHWERTMANN, U. The 5 M-NaOH concentration treatment for iron oxides in soils. **Clays and Clay Minerals**, Virgínia, v. 30, p. 401-408, 1982.

KARLEN, D.L.; ANDREWS, S.S.; DORAN, J.W. Soil quality: current concepts and applications. **Advances in Agronomy**, Amsterdam, v. 74, p. 1-40. 2001.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology and Biochemistry**, Kingston, v. 42, n. 1, p. 1-13, 2010.

KASCHUK, O.; ALBERTON, M.; HUNGRIA. Quantifying effects of different agricultural land uses on soil microbial biomass and activity in Brazilian biomes: inferences to improve soil quality. **Plant Soil**, Crawley, v. 338, p. 467-481, 2011.

KAVAMURA V.N.; TAKETANI, R.G.; LANÇONI, M.D. Water regime influences bulk soil and rhizosphere of cereus jamaru bacterial communities in the Brazilian caatinga biome. **PLoS One**, Amsterdam, v.8, p. 736-776, 2013.

KELLER, J.; ROBERTS, M. Household-level irrigation for efficient water use and poverty alleviation V. Seng, E. Craswell, S. Fukai, K. Fischer (Eds.), **Water in Agriculture: Proceedings of a CARDI International Conference Research on Water in Agricultural Production in Asia for the 21st Century Phnom Penh**, Canberra, p. 61-71. 2004.

KELLOG, C.E. Morphology and genesis of the solonez soils of western South Dakota **Soil Science**, Madison, v.38, p 483-450, 1934.

KHALVATI, M.A.; HU, Y.; MOZAFAR, A.; SCHMIDTHALTER, U. Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hyphae and its significance for leaf growth, water relations, and gas exchange of barley subjected to drought stress. **Plant Biol**, Berlim, v. 7, p. 706-712, 2005.

KISEL, V.D. Origin of Ukrainian solonetzic soils. **Soviet Soil Science**, Colombo, v. 12, p. 16-22, 1981.

KRUSE, J.S. Effects of Wetting and Drying on Carbon and Nitrogen Mineralization in Selected Coastal Plain Soils **Master of Science**, Georgia, v. 12, p. 314-321, 1986.

KUMAR, C.S.; GARAMPALLI, R.H. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in irrigated and non-irrigated fields of southern Karnataka, India. **Journal of Environmental Biology**, Vikas Nagar, v. 2, p. 159-164, 2013.

- LAL, R.; NEGASSA, W.; LORENZ, K. Carbon sequestration in soil. **Current opinion in environmental sustainability**, Amsterdam, v. 15, p. 79-86, 2015.
- LANÇONI, M.D.; TAKETANI, R.G.; KAVAMURA, V.N.; MELO. Microbial community biogeographic patterns in the rhizosphere of two Brazilian semi-arid leguminous trees. **World Journal of Microbiology & Biotechnology**, Berlim, v. 29, p 1233–1241, 2013.
- LEAL, I.R., SILVA, J.; CARDOSO, M.; TABARELLI, M.; LACHER, T.E. Changing the course of biodiversity conservation in the Caatinga of northeastern Brazil **Conservation Biology**, Hoboken, v. 19, p. 701-706, 2005.
- LEEMANS, R.; KLEIDON, A. Regional and global assessment of the dimensions of desertification. In REYNOLDS, JF. and SMITH, DMS., eds. **Global desertification: do humans cause deserts**. Berlim: Dahlem University Press, p. 215-231. 2002.
- LEHMANN, J; KLEBER, M. **The contentious nature of soil organic matter**. Nature, Londres, v. 528, p. 60-68, 2015.
- LENG, G.; ZHANG, X.; HUANG, M.; ASRAR, G.R.; LEUNG, L.R. The role of climate covariability on crop yields in the conterminous United States. **Scientific Reports 6**, London, v. 33 p. 160, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/srep33160>.
- LEPSCH, I.F. **Lições de Pedologia**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos. p. 456. 2011.
- LI, X.R.; HE, M.Z.; DUAN, Z.H.; XIAO, H.L.; JIA, X.H. Recovery of topsoil physicochemical properties in revegetated sites in the sand-burial ecosystems of the Tengger Desert, northern China. **Geomorphology**, Amsterdam. v. 88, p. 254-26,. 2007.
- LIU, A.; PLENCHETTE, C.; HAMEL, C. Soil nutrient and water providers: how arbuscular Hamel C., Plenchette C. (Eds.), **Mycorrhizae in Crop Production, Haworth Food and Agricultural Products Press**, New York, p. 37-66, 2007.
- LIU, R.J.; CHEN Y.L. mycorrhizal mycelia support plant performance in a resource limited world. **Mycorrhizology Science Press**, v.76, p. 323-330, Beijing, 2007.
- LIU,J.; ZHANG Q.C.; LI Y.; DI H.J.; XU J.M.; LI J.Y.; GUAN X.M.; XU X.Y. **Effects of pasture management on soil fertility and microbial communities in the semi-arid grasslands of Inner Mongolia J. Soils Sediments**, Berlim, v. 16, p. 235-242, 2016.
- LU, S.G.; BAI ,S.Q. Study on the correlation of magnetic properties and heavy metals content in urban soils of Hangzhou City, China. **Journal of Applied Geophysics**, Amsterdam, v. 60, p. 1-12, 2006.
- LU, X.; KELSEY, K.C.; YAN, Y.; SUN, J.; WANG, X.; CHENG, G.; NEFF, J.C. Effects of grazing on ecosystem structure and function of alpine grasslands in Qinghai-Tibetan Plateau: a synthesis. **Ecosphere**, London, v. 8, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/ecs2.1656>.

LUCAS, S.T.; WEIL, R.R. Can a labile carbon test be used to predict crop responses to improve soil organic matter management? **Agronomy Journal**, Madison, v. 104, pp. 1160-1170, 2012.

LUCENA, R.F.P.; ALBUQUERQUE, U.P.; MONTEIRO, J.M. .; ALMEIDA, C.F.C.B.R.; FLORENTINO, A.T.N.; FERRAZ, J.S.F. Useful plants of the semi-arid Northeastern region of Brazil — a look at their conservation and sustainable use. **Environmental Monitoring and Assessment**, Berlim, v. 125, p. 281-290, 2007.

LUDWIG, J.A; WILCOX, B.P.; BRESHEARS, D.D.; TONGWAY, D.J.; IMESON, A.C. Vegetation patches and runoff-erosion as interacting ecohydrological processes in semiarid landscapes. **Ecology**, Malden, v. 86, p. 288-297, 2005.

MAGISTRO, J.; ROBERTS, M. .; HAGGBLADE, S.; RAMER, F.K.; POLAK, P.; WEIGHT, E.; YODER, R. A model for pro-poor wealth creation through small-plot irrigation and market linkages. **Irrigation and Drainage**, Nova Jersey, v. 56, p. 321-334, 2007.

MAMEDE, M.A.; ARAÚJO, F.S. Effects of slash and burn practices on a soil seed bank of caatinga vegetation in Northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**, Devon, v. 72, p. 458-470, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2007.07.014>.

MANHAES, R.S.T.; AULER, L.T.; SHEL, M.S.; ALEXANDRE, J.; MASSUNAGA, M.S.O.; CARRIO, J.G.; DOS SANTOS, D.R.; DA SILVA, E.C.; GARCIA-QUIROZ, A.; VARGAS, H. Soil characterization using X-ray diffraction, photoacoustic spectroscopy and electron paramagnetic resonance. **Applied Clay Science**, Berlim, v. 21, p. 303-311. 2002

MANNA,M.C.; BHATTACHARYYA, P.; ADHYA, T.K. .; SINGH, M. .; WANJARI, R.H.; SRAMANA, A.K.;IPATHI, K.N.; SINGH, K.S; REDDY, A.; SUBBARAO, R.S.; SIS ODA, M.; DONGR.E.; JHA, P.;NEOGI, S.; ROY, K.S.; RAO, K.S.; SAWARKAR, S.D.; RAO, V.R. Carbon fractions and productivity under changed climate scenario in soybean-wheat system. **Field Crops Research**, Berlim, v. 145, p. 10-20, 2013

MARENGO J. A.; SILVA DIAS P. **Mudanças climáticas globais e seus impactos nos recursos hídricos In: Águas doces no Brasil - capital ecológico, usos múltiplos exploração racional e conservação**. Viçosa, p. 63-109, 2007

MARENGO J.A; AMBRIZZI, T.;ROCHA, P., ALVES, L. M.; CUADRA, S. V.; VALVERDE, M. C.; FERRAZ, S. E. T.; TORRES R. R.; SANTOS D. C. Future change of climate in South America in the late XXI Century: Intercomparison of scenarios from three regional climate models. **Climate Dynamics**, Berlim, v. 35, p. 1073–1097, 2009 Disponível em: DOI 10.1007/s00382-009-0721-6, 2009b

MARENGO J.A; JONES R.; ALVES L. M.; VALVERDE M. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. **International Journal of Climatology**, Hoboken, v. 23, p. 131-138, 2009. Disponível em: doi:10.1002/joc.1863

- MARENGO, J. A.; CHOU, S. C.; BETTS, R.; KAY, G.; ALVES, L. M.; TORRES, R.; SANTOS, D. Development of regional climate change scenarios in South America using the Eta CPTEC/HadCM3 climate change projections: Part 1. Climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Parana River Basins. **Climate Dynamics**, Berlim, v. 38, p 635–653, 2010.
- MARTINS, C. M.; GALINDO, I. C. L.; SOUZA, E. R.; POROCA, H. A. Atributos químicos e microbianos do solo de áreas em processo de desertificação no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 6, 2010.
- MARULANDA, A.; AZCÓN, R.; RUÍZ-LOZANO, J.M. Contribution of six arbuscular mycorrhizal fungal isolates to water uptake by *Lactuca sativa* under drought stress. **Physiology Plant**, Berlim, v. 119, p. 526-533, 2003.
- MCBRIDE, M.B. **Environmental chemistry of soils** Cap.8, Salt-affected and Swelling Soils, Oxford University Press, p. 18, 1994.
- McKEAGUE, J. A.; DAY, J. H.; Dithionite and oxalate extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 46, p. 13-22, 1966.
- MCLEOD, M.; SCHWENKE, G.; COWIE, A.; HARDEN, S. Soil carbon is only higher in the surface soil under minimum tillage in Vertosols and Chromosols of NSW North-West Slopes and Plains, Australia. **Soil Research**, New South Wales, v. 51, p. 680-694, 2013.
- MCLEOD, M.; SCHWENKE, G.; COWIE, A.; HARDEN, S. Soil carbon is only higher in the surface soil under minimum tillage in Vertosols and Chromosols of NSW North-West Slopes and Plains, Australia. **Soil Research**, New South Wales, v. 51, p. 680-694, 2013.
- MEDEIROS, J.F.; NASCIMENTO, I.B.; GHEYI HR. Manejo do solo-água-plantas em áreas afetadas por sais. In: Gheyi, H.R.; Dias, N.S.; Lacerda CF (eds). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**, INCTSal, Fortaleza. 2010.
- MEDEIROS, S.S.; MARIN, A.M.P.; REIS, C.F.; SORIANO, J.J.; SANTOS, D.B.; PEREIRA, D.D. **Estiagem e Seca no Semiárido Brasileiro**. Fortaleza. Folheto Informativo nº1. INSA. 2011.
- MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. Iron oxide removal from soils and clays by dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. **Clay and clay minerals proceeding conference**, Elmsdorf, p. 317-342, 1960.
- MELERO, S.; LO'PEZGARRIDO, R.; MADEJO'N, E.; MURILLO, J.M.; VANDERLINDEN, K.; ORDOÑEZ, R.; MORENO, F. Long-term effects of conservation tillage on organic fractions in two soils in southwest of Spain **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 133 , p. 68-74. 2009.
- MELO, V.F.; MATTOS, J.M.S.M.; LIMA, V.C. Methods for concentration of minerals in the clay fraction 2:1 side seeking their identification by X-ray diffraction. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33 p. 527-539. 2009

MENDONÇA, E.S.; MATOS, E.S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**, Viçosa, p. 107, 2005.

MENDONÇA, E.S. & MATOS, E.S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa: UFV, p. 107. 2005.

MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E.V.S.B.; GIONGO, V.; PÉREZ-MARIN, A.M. Biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems of the Caatinga Biome. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 72, p. 643-653. 2012.

MESHESHA, D.T.; TSUNEKA,WA, A.; TSUBO, M. Continuing land degradation: cause-effect in Ethiopia's Central Rift Valley. **Land Degradation & Development**, London, v. 23, p. 130-143. 2012.

MEUNIER A.; VELDE B. Illite: Origin, Evolution and Metamorphism. **Springer**, New York, 2004.

MEUNIER, A. Les mécanismes de l'altération des granites et le rôle des microsystèmes. Étude des arènes du massif granitique de Partenay (Deux-Sèvres), **Mémoire de la Société Géologique de France**, Paris, No. 140, 1980.

MEURER, E. J.; CASTILHOS, D. D.; TEDESCO, M. J. **Fundamentos de química do solo**. 2.ed. Porto Alegre: Genesis, p. 290, 2004.

MIKHA, M.M.; RICE, C.W.; MILLIKEN, G.A. Carbon and nitrogen mineralization as affected by drying and wetting cycles. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 37, p. 339-347. 2005.

MILLER, A.E.; SCHIMEL, J.P.; MEIXNER, T.; SICKMAN, J.O.; MELACK, J.M. Episodic rewetting enhances carbon and nitrogen release from chaparral soils. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.37, p. 2195-2204, 2005.

MILLER, A.J.; AMUNDSON, R.; BURKE, I.C.; YONKER, C. The effect of climate and cultivation on soil organic C and N. **Biogeochemistry**, Switzerland, v. 67, pp. 57-72. 2004.

MILLER, J.J.; PAWLUK, S. Genesis of solonetzic soils as a function of topography and seasonal dynamics. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 74, p. 207-217. 1994.

MILLER, J.J.; BRIERLEY, J.A. Solonetzic soils of Canada: genesis, distribution, and classification. **Canadian Journal of Soil Science**., Ottawa, v. 91, p. 889-902. 2011

MONTEIRO, C. A. Domínios e províncias nos quadros de natureza brasileira, na visão de Ab'Sáber. In: MODENESIGAUTTIERI, M. C.; BARTORELLI, A.; MANTESSO-NETO, V.; CARNEIRO, C. D. R. & LISBOA, M. B. DE A., eds. **A Obra de Aziz Nacib Ab'Sáber**. 1.ed. São Paulo. Beca- Ball Edições Ltda. p. 329 -333. 2010.

MOORE, D. M.; REYNOLDS, R. C. **X-ray diffraction and identification and analysis of clay minerals**. Oxford: Oxford University Press, 1989.



- MUYZER, G.; WAAL, E.C.; UITTERLINDEN, A.G. Profiling of complex microbial populations by denaturing gradient gel electrophoresis analysis of polymerase chain reaction-amplified genes coding for rRNA 16S. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 59, p. 695-700, 1993.
- NANNIPIERI, P. ; S. GREGO, B. CECCANTI. Ecological significance of the biological activity in soils J.M. Bollag, G. Stotzky (Eds.), **Soil Biochemistry**, Marcel Dekker, v. 6, p. 293-355, 1990.
- NEVES, L.V.M.W. **Pedogênese e diversidade microbiana em Planossolos sob processo de Desertificação na região semiárida de Pernambuco**. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2018. 180p. **Tese de Doutorado**
- NIANPENG,H.; RUOMENG, W.; YANG, G.; JINGZHONG, D.; XUEFA, W.; GUIRUI, Y. Changes in the temperature sensitivity of SOM decomposition with grassland succession: implications for soil C sequestration. **Ecology & Evolution**, London, v. 3, p. 5045-5054. 2013.
- NIEUWENHUIS, G.J.A.; DE WIT A.J.W.; VAN KRAALINGEN, C.A.; VAN DIEPEN, H.L.; BOOGAARD, D.W.G. Monitoring crop growth conditions using the global water satisfaction index and remote sensing **ISPRS Commission VII Mid-term Symposium “Remote Sensing: From Pixels to Processes”**, Enschede, .2006.
- OLIVEIRA, L. B.; FONTES, M. P. F.; RIBEIRO, M. R.; KER, J. C. Micromorfologia e gênese de Luvisolos e Planossolos desenvolvidos de rochas metamórficas no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n.6, p. 2407-2423, 2008.
- OLIVEIRA, L.B. **Mineralogia, micromorfologia, gênese e classificação de Luvisolos e Planossolos desenvolvidos de rochas metamórficas no semiárido do Nordeste Brasileiro**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa. p .169. 2007 (Tese de Doutorado)
- OLIVEIRA, L.B.; RIBEIRO, M.R.; KER, J.C.; FONTES, M.P.F. & LANI, J.L. Solos Brunos não cálcicos do Nordeste Brasileiro: Revisão das características e de sua classificação no sistema brasileiro de classificação de solos. In: MENDONÇA, E.S.; XAVIER, F.A.S.; LIBARDI, P.L.; ASSIS JR., R.N. & OLIVEIRA, T.S., orgs. **Solo e água: Aspectos de uso e manejo com ênfase no semiárido nordestino**. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará. p.325-346. 2004.
- OWLIAIE, H.R., ABTAHI, A., HECK, R.J. Pedogenesis and clay mineralogical investigation of soils formed on gypsiferous and calcareous materials, on a transect, southwestern Iran. **Geoderma**, Amsterdam, v. 134, p. 62-81, 2006.
- PALM, P.; SANCHEZ, S.; AHAMED, A.; AWITI. Soils: a contemporary perspective. An **Rev Environment Resources**, Palo Alto, v. 32, p. 99-129, 2007.
- PANIKOV, N.S. Understanding and prediction of soil microbial community dynamics under global change. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 11, p. 161-176, 1999.
- PAPADOPOULOS, N.R.A.; BIRD, A.P.W.; MOONEY, S.J. Does organic management lead to enhanced soil physical quality? **Geoderma**, Amsterdam, v. 213, p. 435-443, 2014.

PARAHYBA, R. B. V.; SANTOS, M. C.; ROLIM NETO, F. C. Evolução quantitativa de Planossolos do agreste do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 991-999, 2009.

PAUSTIAN, K.; LEHMANN, J.; OGLE, S.; REAY, D.; ROBERTSON, G.P.; SMITH, P. **Climate-smart soils**. Nature, Reino Unido, v. 532, p. 49-57, 2016.

FILHO, P.; MORAIS, J.; SILVA; AZEVEDO, A.M.; CÉZAR; FONTES, M. Manejo da Caatinga para produção de caprinos e ovinos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 14, n. 1, p. 77-90, 2013.

PIMM, S.L. **The world according to Pimm: A scientist audits the Earth**. Chicago McGraw-Hill. p. 287, 2001.

PIRES, L.F.; BACCHI, O.O.; REICHARDT, K. Assessment of soil structure repair due to wetting and drying cycles through 2D tomographic image analysis. **Soil and Tillage Research**, Gangtok, v. 94, p. 537-545, 2007.

PIRES, L.F.; BACCHI, O.O.; REICHARDT, K. Gamma ray computed tomography to evaluate wetting/drying soil structure changes. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms**, Amsterdam, v. 229, p. 443-456, 2005.

PLAZA-BONILLA, J.; ÁLVARO, F. C.; CANTERO-MARTÍNEZ. Identifying soil organic carbon fraction sensitive to agricultural management practices. **Soil and Tillage Research**, Gangtok, v. 139, p. 19-22. 2014.

POLAK, P.; YODER, R. Creating wealth from groundwater for dollar-a-day farmers: where the silent revolution and the four revolutions to end rural poverty meet. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 14, p. 424-432. 2006.

PRANAGAL, J.; PODSTAWKA-CHMIELEWSKA, E. Physical properties of a Rendzic Phaeozem during a ten-year period of fallowing under the conditions of south-eastern Poland. **Geoderma**, Amsterdam, v. 189, p. 262-267, 2012.

RAMIREZ-PEREZ, A.M., PARADELO, M., NOVOA-MUNOZ, J.C., ARIAS-ESTEVEZ, M., FERNANDEZ- SANJURJO, M.J., ALVAREZ-RODRIGUEZ, E., NUNEZ-DELGADO, A. Heavy metal retention in copper mine soil treated with mussel shells: batch and column experiments. **Journal Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 248, p. 122-130, 2013.

RAY, D.K.; GERBER, J.S.; MACDONALD, G.K.; WEST, P.C. Climate variation explains a third of global crop yield variability. **Nature Communications**, Reino Unido, v. 6, p. 59-89. 2015

REDWOOD, J. Clima, sustentabilidade e desenvolvimento em terras secas. Parcerias Estratégicas - Centro de Gestão e Estudos Estratégico. **Centro de Gestão e Estudos Estratégicos: Ministério da Ciência e Tecnologia**, Brasília. 2012.

REICHENBACH H.G.; RICH, C.I. Fine-grained micas in soils J.E. Geiseking (Ed.), Soil components. Vol. 2. Inorganic components, Springer-Verlag, New-York, p. 59-95, 1975.

REID-SOUKUP, D.A.; ULERY, A.L. Smectites. In: Dixon, J.B., and Schulze, D.G., editors, **Soil mineralogy with environmental application**, Madison, p. 467-499, 2002.

REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; **Propriedades físicas do solo**; Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM; Santa Maria. p. 18. 2006.

REYNOLDS, W.D.; C.F. DRURY, C.S. TAN, C.A. FOX, X.M. YANGU se of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. **Geoderma**, Amsterdam, v. 52, p. 252-263, 2003.

RHOADES, J. D.; LESCH, S.M.; LEMERT, R.D.; ALVES, W.J. Assessing irrigation/drainage/salinity management using spatially referenced salinity measurements. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 35, p. 147-165, 1997.

RIBEIRO, M.R.; FREIRE, F.J.; MONTENEGRO, A.A.A.; Solos halomórficos do Brasil: Ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. In: Curi N, Marques JJ, Guilherme LRG, Lima JM, Lopes AS, Alvarez VH (eds) **Tópicos em ciência do solo, 3rd edn, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 2003.

RIBEIRO-NETO, X.; ARNAN, M.; TABARELLI, I.R.; LEAL. Chronic anthropogenic disturbance causes homogenization of plant and ant communities in the Brazilian Caatinga. **Biodiversity and Conservation**, Switzerland, v. 25, p. 943-956. 2016.

RIBEIRO, K.; SOUSA, E.R.; NETO, J.A.; CARVALHO JUNIOR, J.R.S.; LIMA, R.S.C.; MEN EZES, P.J.; DUARTE NETO, G.S.; GUERRA, J.P.H.B.; OMETTO. Land cover changes and greenhouse gas emissions in two different soil covers in the Brazilian Caatinga **Science Total Environment**, Amsterdam, v. 571, p. 1048-1057. 2016.

RICHARDS, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. **Department of Agriculture**, Washington, 1954.

ROS, M. ; HERNÁNDEZ, T.; GARCÍA, C. Soil microbial activity after restoration of a semiarid soil by organic amendments **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 35, p. 463-469, 2003.

RUAN, H.H.; ZOU, X.M.; SCATENA, F.N.; ZIMMERMAN, J.K. Asynchronous fluctuation of soil microbial biomass and plant litterfall in a tropical wet forest. **Plant and Soil**, Switzerland, v. 260 p. 147-154, 2004.

RUFFELL, A.; WILTSHIRE, P. Conjunctive use of quantitative and qualitative X-ray diffraction analysis of soils and rocks for forensic analysis. **Forensic Science International**, Amsterdam, v. 145, p. 13-23, 2004.

SACO, P.M.; WILLGOOSE, G.R.; HANCOCK, G.R. Eco-geomorphology of banded vegetation patterns in arid and semi-arid regions **Hydrology and Earth System Sciences**, Göttingen, v. 11, p. 1717-1730, 2007.

- SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H.; KAUFFMAN, J.B. Effect of different fire severities on coppicing of Caatinga vegetation in Serra Talhada, PE, Brazil. **Biotropica**, London, v. 25, p. 452-460. 1993.
- SAMPAIO, E.V.S.B., TIESSEN, H.; ANTONINO, A.C.D.; SALCEDO, I.H. Residual N and P fertilizer effect and fertilizer recovery on intercropped and sole-cropped corn and beans in semiarid northeast Brazil **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Switzerland, p. 70 .2004.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; COSTA, T. L. Estoques e fluxos de carbono no semiárido nordestino: Estimativas preliminares. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 6, p. 1275-1291, 2011.
- SAMPAIO, E.V.S.B. Overview of the Brazilian Caatinga. **Seasonally Tropical Dry Forests**, Cambridge University Press, Cambridge, p. 35-63, 1995.
- SANTOS, J.C.B. **Caracterização de neossolos regolíticos da região semiárida do estado de Pernambuco**. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2011, p. 151. **Dissertação de mestrado**.
- SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C.; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solos no campo**. 6. ed. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.
- SANTOS, M.G. ; OLIVEIRA, M.T.; FIGUEIREDO, K.V.; FALCÃO, H.M.; ARRUDA, E.C.; ALMEIDA, J.;CORTEZ, E.V.; SAMPAIO, J.P.; OMETTO, R.S.; MENEZES, A.F.; OLIVEIRA Caatinga, the Brazilian dry tropical forest: can it tolerate climate changes? **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, Berlim, v. 26, p. 83-99, 2014.
- SAYEN, S.; GUILLON, E. Aging effect on Zn retention on a calcareous soil: column experiments and synchrotron X-ray micro-spectroscopic investigation. **Science Total Environment**. Amsterdam, v. 487, p. 545-556, 2014.
- SCHAETZL, R.; ANDERSON, S. Soils: genesis and geomorphology. **Cambridge University Press**. 2005.
- SCHIMEL, D.S. **Terrestrial ecosystems and the carbon cycle** Global Change Biol., v. 1, pp. 77-91. 1995.
- SCHMIDT, M. ; TORN, S.; ABIVEN, T.; DITTMAR, G.; GUGGENBERGER, I.; JANSSEN S.M.; KLEBER, I.; KÖGELKNABNER, J.; LEHMANN, D.; MANNING, P.; NANNIPIERI, D.; RASSE, S.; WEINER, S.; TRUMBORE, P. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property, **Nature**, London, v. 478, p. 49–56, 2011.
- SCHOENEBERGER, P.J.; WYSOCKI, D.A.; BENHAM, E.C.; BRODERSON, W.D. (EDS), Field Book for Describing and Sampling Soils, Version 2.0, **Natural Resources Conservation Service**, National Soil Survey Center, Lincoln, 2002.
- SCHROEDER, M.G.; WIESNER, Z.; LIU. Fluxes of clay minerals in the South China sea. **Earth and Planetary Science Letters**, Amsterdam, v. 430, p. 30-42, 2015.

SCHWENKE, G.; MCLEOD, M.; MURPHY, S.; HARDEN, S.; COWIE, A.; LONERGAN, V. The potential for sown tropical perennial grass pastures to improve soil organic carbon in the North-West Slopes and Plains of NSW. **Soil Research**, New South Wales, v. 51, p. 726-737, 2013.

SCHWERTMANN, U. Transformation of hematite to goethite in soils. **Nature**, London, v. 232, p. 624-625, 1971.

SCHWERTMANN, U. Iron oxides. In: Encyclopedia of soil science. **Springer**, Amsterdam, p. 363-369, 2008.

SCHWERTMANN, U.; CORNELL, R.M. **Ferrihydrite** Iron Oxides in the Laboratory, Wiley-VCH Verlag GmbH, p. 103-112, 2007.

SESSITSCH, A.; WEILHARTER, A.; GERZABEK, M.H.; KIRCHMANN, H.; KANDELER, E. Microbial population structures in soil particle size fractions of a long-term fertilizer field experiment. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 67, p. 4215-4224, 2001.

SETIA, R.; MARSCHNER, P.; BALDOCK, J.; CHITTLEBOROUGH, D. Is CO<sub>2</sub> evolution in saline soils affected by an osmotic effect and calcium carbonate? **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 46, pp. 781-792, 2010.

SHAHID, S.A. Developments in soil salinity assessment, modeling, mapping, and monitoring from regional to submicroscopic scales, *Developments in Soil Salinity Assessment and Reclamation*, **Springer Dordrecht**, Berlin, p. 3-43, 2013.

SILVA, J. M.; ALBURQUERQUE, L. S. D.; SANTOS, T. M. C. D.; OLIVEIRA, J. U. L. D.; GUEDES, E. L. F. Mineralização de vermicompostos estimada pela respiração microbiana. **Revista Verde**, Pombal, v. 8, n. 4, p. 132-135, 2013.

SILVA, R. I.; MENDONÇA, E. S. da. **Matéria orgânica do solo**. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. 62 B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**, Viçosa, p. 275-374. 2007.

SILVA, V.P.R. On climate variability in Northeast of Brazil. **Journal of Arid Environment**, Devon, v. 58, p. 575-596, 2004.

SIMPSON D.; DAFT, M.J. Interactions between water stress and different mycorrhizal inoculation plant growth and mycorrhizal development in maize and sorghum. **Plant Soil**, Crawley, v. 121, pp. 179-186, 1990.

SINGH, B; GILKES, R. J. Concentration of iron oxides from clays by 5 M NaOH: the complete removal of sodalite and kaolin. **Clays Minerals**, Amsterdam, v.26, p.463-472, 1991.

SIVAKUMAR M.V.K.; STEFANSKI, R. Climate and land degradation — an overview M.V.K. SIVAKUMAR, N. NDIANG'UI (EDS.), **Climate and Land Degradation**, Berlin, v. 2, p. 105-135. 2007.

SIX, J. ; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics **Soil and Tillage Research**, Gangtok, v.79, p. 7-31, 2004.

SIX, J. ; FREY, S.D.; THIET, R.K.; BATTEN, K.M. Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems **Soil Science Society of America Journal.**, Madison, v. 70, p. 555, 2006.

SIX, J.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E.T.; COMBRINK, C. Soil structure and organic matter: I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, p. 681-689, 2000.

SMITH, A.C; KOSTKA, J.E.; DEVEREUX, R.; YATES, D.F. Seasonal composition and activity of sulfate-reducing prokaryotic communities in sea grass bed sediments. **Aquatic Microbial Ecology**, New York, v. 37, p. 183-184, 2004.

SMITH,P.; MARTINO, D.; CAI, Z.; GWARY, D.; JANZEN, H.; KUMAR, P.; MCCAR, B.; OGLE, S.; F.O'MARA, C; RICE, B.; SCHOLE, O.; SIROTENKO. **Agriculture** B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (Eds.), In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, 2007.

SOFO, A.; CIARFAGLIA, A.; SCOPA, I.; CAMELE, M.; CURCI, C.; CRECCHIO, C.; XIL OYANNIS, A.;M.PALESE. Soil microbial diversity and activity in a Mediterranean olive orchard using sustainable agricultural practices **Soil Use Manage**, London, v. 30, p. 160-167, 2014

Soil Survey Staff. **Soil Survey Manual**, USDA, 1993.

SOLOMON, D.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Land use effects on soil organic matter properties of chromic Luvisols in semi-arid northern Tanzania: carbon, nitrogen, lignin and carbohydrates. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 78, p. 203-213, 2000.

SONG, X.Y.; SPACCINI, R.; PAN, G.; PICCOLO, A. Stabilization by hydrophobic protection as a molecular mechanism for organic carbon sequestration in maize-amended rice paddy soils **Science Total Environment**, Amsterdam, v. 45, p. 319-330, 2013

SOWERBYA, C.; EMMETTA, A.; BEIERB, J.;TIETEMAC, M.; PEÑUELAS, M.; ESTIAR TED, J.M.;VAN; MEETERENC, S.; HUGHESA, C.; FREEMANE. Microbial community changes in heathland soil communities along a geographical gradient: interaction with climate change manipulations **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 37, p. 1805-1813, 2005.

SPAIN, A.A.; ISBELL, R.F.; PROBERT, M.E. Soil Organic Matter. **Soils, an Australian Viewpoint CSIRO**, Melbourne, p. 551-563, 1983.

SPARKS, D.L. **Environmental Soil Chemistry** (2nd edition), Academic Press, San Diego, p. 352. 2003.

STEVENSON, F.J.; COLE, M.A. Cycles of Soil: Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients (2nd ed.), **John Wiley & Sons**, Crawley. 1999.

STONER, E. R.; BAUMGARDNER, M. F. Characteristic variations in reflectance of surface soils. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v.45, p.1161-1165, 1981.

STRONG, D.R.; WHIPPLE, A.V.; CHILD, A.L.; DENNIS, B. Model selection for a subterranean trophic cascade: root-feeding caterpillars and entomopathogenic nematodes. **Ecology**, Malden, v. 80, p. 2750-2761. 1999.

SU, Y.Z.; LI, Y.L.; ZHAO, H.L. Soil properties and their spatial pattern in a degraded sandy grassland under post-grazing restoration, Inner Mongolia, northern China. **Biogeochemistry**, Switzerland, v. 79, p. 297-314, 2006.

SUMNER, M.E.; RENGASAMY, P.; NAIDU, R. **Sodic soils: a reappraisal** M.E. Sumner, R. Naidu (Eds.), Sodic Soils, Distribution, Properties, Management, and Environmental Consequences, **Oxford University Press**, p. 3-17, 1998.

SUN, R.; ZHANG X.; GUO, X.; WANG, D.; CHU, H. Bacterial diversity in soils subjected to long-term chemical fertilization can be more stably maintained with the addition of livestock manure than wheat straw **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 88, p. 9-18, 2015.

SWANEPOEL, P.A; BOTHA, P.R.; PREEZ, C.C.; SNYMAN, H.A. Physical quality of a podzolic soil following 19 years of irrigated minimum-till kikuyu-ryegrass pasture **Soil and Tillage Research**, Gangtok, v. 133, p. 10-15, 2013.

TARCHOUNA, L.G.; MERDY, P.; RAYNAUD, M.; HANS-RUDOLF, P.; LUCAS, Y. Effects of long-term irrigation with treated wastewater. Part I: evolution of soil physico-chemical properties **Applied Geochemistry**, Amsterdam, v. 25, p. 1703-1710, 2010.

TARDY Y. **Petrology of Laterites and Tropical Soils**. Balkema, Rotterdam, 1997.

TAYLOR, J.; WILSON, B.; MILLS, M.S.; BURNS, R.G.; Comparison of microbial numbers and enzymatic activities in surface soils and subsoils using various techniques. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 34, p. 387-401, 2002

TCHABI A., COYNE D., HOUNTONDI F., LAWOUIN L., WIEMKEN A., OEHL F. Arbuscular mycorrhizal fungal communities in sub-Saharan Savannas of Benin, West Africa, as affected by agricultural land use intensity and ecological zone. **Mycorrhiza**, Berlin, v. 18, p. 181-195, 2008.

TEJADA, M.; BENÍTEZ, C. Effects of crushed maize straw residues on soil biological properties and soil restoration. **Land Degradation & Development**, London, v. 25, p. 501-509, 2014.

TONG, X.F.; XU, M.G.; WANG, X.J.; BHATTACHARYYA, R.J.; ZHANG, W.J.; CONG, R.H. Long-term fertilization effects on organic carbon fractions in a red soil of China. **Catena**, New York. v. 113, p. 251-259, 1914.

- TORRENT, J.; SCHWERTMANN, U.; BARRON, V. The reductive dissolution of synthetic Goethite and Hematite in Dithionite. **Clay Minerals**, Virgínia, v. 22, p. 329-337, 1987.
- TURRAL, H.; BURKE, J.; FAURÈS, J.M. Climate Change, Water and Food Security **Water Reports No. 36**. FAO, Rome, 2011.
- VALDES, E.; WAGNER, E.; MARZALL, J.; SIMAS, J.; MORELLI, L.P.; PEREIRA, L.G.T.; AZEVEDO. **Impactos e Externalidades Sociais da Irrigação no Semi-Árido Brasileiro**. In: **Série Água Brasil 5** (1ª ed.), Banco Mundial, Brasília, 2004.
- VAN DER HEIJDEN, M.G.A.; BARDGETT, R.D.; VAN STRAALEN, N.M. The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. **Ecology Letters**, Oxford, v.11, p.296-310, 2008.
- VAN ELSAS, J.; GARBEVA, P.; VAN VEEN, J. Microbial diversity in soil: selection microbial populations by plant and soil type and implications for disease suppressiveness. **Annual Review of Phytopathology**, Lawrence, v. 42, n. 29, p. 243-270, 2004.
- VELDE, B.; MEUNIER, A. The Origin of Clay Minerals in Soils and Weathered Rocks. **Springer-Verlag**, Berlin. 2008.
- VELDKAMP, E. Organic Carbon Turnover in Three Tropical Soils under Pasture after Deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, p.175-180, 1994.
- VERDIN J.; FUNK, C.; SENA, G.; CHOULARTON, Y, R. Climate science and famine early warning. *Philosophical Transactions of the Royal Society. B: Biology Science*, Sidney, v. 360, p. 2155-2168, 2005.
- VIEIRA, R.M.S.P.; TOMASELLA, J.; ALVALÁ, R.C.S.; SESTINI, M.F.; AFFONSO, A.G.; RODRIGUEZ, D.A.; BARBOSA, A.A.; CUNHA, A.P.M.A.; VALLES, G.F.; CREPANI, E.; OLIVEIRA, S.B.P.; SOUZA, M.S.B.; CALIL, P.M.; CARVALHO, M.A.; VALERIANO, D.M.; CAMPELLO, F.C.B.; SANTANA, M.O. Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian northeast. **Solid Earth**, Göttingen, v. 6, p. 347-360, 2015.
- VIENNET, J.C.; HUBERT, F.; FERRAGE, E.; TERTRE, E.; LEGOUT, A.; TURPAULT, M.P. Investigation of clay mineralogy in a temperate acidic soil of a forest using X-ray diffraction profile modeling: beyond the HIS and HIV description. **Geoderma**. Amsterdam, v. 241, p. 75-86, 2015.
- VÖRÖSMARTY, C.J., DOUGLAS, E.M., GREEN, P.A., REVENGA, C. Geospatial indicators of emerging water stress: an application to africa. **Ambio**. Berlim, v.30, p. 236-243, 2005.
- WANG B. ; XIA, D.S.; YU, Y.; JIA, J.; XU, S.J. Magnetic records of heavy metal pollution in urban topsoil in Lanzhou, China. **Chinese Science Bull**, Beijing v. 158, p. 384-395. 2013.
- WANG M.Y.; HU. L.B.; WANG, W.H.; LIU, S.T.; LI, M.; LIU, R.J. Influence of long-term fixed fertilization on diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. **Pedosphere**, Amsterdam, v. 19, p. 663-672, 2009.



WANG,C.; WANG, X.; LIU, D.; WU, H.; LÜ, X. ; FANG, Y.; CHENG, W.; LUO, W.; JIANG, P.; SHI, J.; YIN, H.; ZHOU, J.; HAN, X.; BAI, E. Aridity threshold in controlling ecosystem nitrogen cycling in arid and semi-arid grasslands. **Nature**, London, v. 5, p. 47-59, 2014

WARD, J.H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association**. Alexandria, v. 58, p. 263-244, 1963.

WEIL, R.R.; ISLAM, K.R.; STINE, M. A.; GRUVER, J.B.; SAMSON-LIEBIG, S.E. Estimating active carbon for soil quality assessment: a simplified method for laboratory and field use. **American Journal Alternative Agriculture**, Cambridge, v. 18, p. 3-17, 2003.

WESTIN, F.C. Solonetz soils on eastern South Dakota: their properties and genesis **Soil Science Society of America**. Madison, v. 17, p. 287-293, 1953.

TIG, L.D. Characteristics and genesis of a Solonchalc Solonetz of California. **Soil Science Society of America**., Madison, v.23, p. 469-473, 1959.

WIELAND, G.; NEUMANN, R.; BACKHAUS, H. Variation of microbial communities in soil, rhizosphere, and rhizoplane in response to crop species, soil type, and crop development. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 67, p. 5849-5854, 2001.

WIESMEIER, M.; BERNER, R.H.; SPÖRLEIN, P.; GEU, U.; HANGEN, A.; REISCH, B.; SCHILLING, M.; VON LÜTZOW, U.; KÖGEL-KNABNER I. Carbon sequestration potential of soils in southeast Germany derived from stable soil organic carbon saturation. **Global Change Biology**, London, v.20, p. 653-665, 2014.

WIGHT J.P.; ASHWORTH, F.L. ALLEN Organic substrate, clay type, texture, and water influence on NIR carbon measurements. **Geoderma**, Amsterdam, v. 261, pp. 36-43, 2016.

WIGHT, J.P.; ASHWORTH, F.L. ALLEN Organic substrate, clay type, texture, and water influence on NIR carbon measurements **Geoderma**, Amsterdam. v. 261, p. 36-43, 2016.

WILCOX B.P.; BRESHEARS, C.D. Allen Ecohydrology of a resource-conserving semiarid woodland: effects of scale and disturbance **Ecological Monographs**, London, v. 73, p. 223-239. 2013

WILSON, M. J.; CERTINI, G.; CAMPBELL, C. D.; ANDERSON, I. C.; HILLIER, S. Does the preferential microbial colonisation of ferromagnesian minerals affect mineral weathering in soil? **Naturwissenschaften**, Berlin, v. 95 p. 851-858, 2008.

WOLFE, E. e **Country Pasture/Forage Resource Profiles**, Disponível em: <http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/counprof/PDF%20files/Australia.pdf>, 2009.

WORCHEL E.R.; GIAUQUE H.E.; KIVLIN S.N. Fungal symbionts alter plant drought response **Microbial Ecology**, Berlin, v. 65, p. 671-678, 2013.

WORLD BANK. **Deep wells and Prudence: Towards Pragmatic Actions for Addressing Groundwater Overexploitation in India**, p. 97, 2010.

YEOMANS, J.C; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science Plant Analysis**, Routledge, v. 19, p. 1467-1476, 1988.

YOUNG, A. Soil monitoring: a basic task for soil survey organizations. **Soil Use and Management**, London, v. 7, p. 126-130. 1991.

ZAIDEL'MAN, F.R., A.S; NIKIFOROVA, L.V; STEPANTSOVA, T.V; KRASINA, V.N; ASIN. Concretions in typical chernozem, gleyed chernozem-like, and solonetzic chernozem-like soils of the outhern Tambov Lowland. **Eurasian Soil Science**, Switzerland, v. 47, p. 540-555, 2014.

ZHAO, J.; NI, T.; LI, Y.; XIONG, W.; RAN, W.; SHEN, B.; SHEN, Q.; ZHANG, R. Responses of bacterial communities in arable soils in a rice-wheat cropping system to different fertilizer regimes and sampling times. **PLoS One**, São Francisco, v. 9, p. 85-301, 2011.

ZHENG, Y.; ZHANG, S.H. Magnetic properties of street dust and topsoil in Beijing and its environmental implications. **Chinese Science Bull.**, Beijing. v. 53, p. 408-417, 2008.

ZORNOZA, R.; ACOSTA, J.A.; BASTIDA, F.; DOMÍNGUEZ, S.G.; TOLEDO, D.M.; FAZ, A. Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health. **Soil**, London, v.5 p. 173-185, 2015

ZUCCA, A.; CANU, F.; PREVITALI. Soil degradation by land use change in an agropastoral area in Sardinia (Italy). **Catena**, New York, v. 83 p. 46-55, 2010.

## APÊNDICE

### DADOS MORFOLÓGICOS E ANALÍTICOS DOS PERFIS

#### A - DESCRIÇÃO GERAL

##### PERFIL 01

DATA - 30. 08. 2017

CLASSIFICAÇÃO SiBCS - LUVISSOLO CRÔMICO Órtico vertissólico, textura argilosa/muito argilosa, A moderado, esmectítico-caulinítico, atividade muito alta, fase caatinga hiperxerófila , relevo plano, epipedregosa.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS - Perímetro irrigado manga de baixo - lote Vavá . Belém de São Francisco (PE), 08° 45' 07,0''S e 38° 51' 30,0'' W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Descrito e coletado em trincheira, terço superior de suave elevação com aproximadamente 3% de declive, sob cultivo de coentro.

ELEVAÇÃO - 314 m.

LITOLOGIA - Anfibolitos do Pré-Cambriano.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA- Anfibolito/ biotita xisto do Complexo Cabrobó

CRONOLOGIA - Holoceno.

MATERIAL ORIGINÁRIO - Produtos de alteração de rocha supracitada

PEDREGOSIDADE - Ligeiramente pedregosa (na superfície do solo).

ROCHOSIDADE - Ausente.

RELEVO LOCAL - Plano.

RELEVO REGIONAL - Plano e suave ondulado .

EROSÃO - Laminar moderada com presença de sulcos rasos

DRENAGEM - Moderadamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - Caatinga hiperxerófila.

USO ATUAL - Cultivo de Coentro.

CLIMA - BSh da classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR - José Coelho de Araújo Filho, Valdomiro Severino Sousa-Junior, Marilya Gabryella Fernanda de Sousa

## **B - DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

**Ap** 0-9 cm, bruno-avermelhado(2,5YR 3/3, úmida e seca); franco-argilosa; fraco a moderada, pequena e média granular e blocos subangulares; friável, firme, plástica; transição plana e clara.

**BAv** 09-22 cm, bruno-avermelhado(2,5YR 3/3, úmida); muito argilosa; fraco a moderada, pequena a média blocos angulares e subangulares; slickensides fraco a moderada; firme, muito plástica e pegajosa; transição plana e gradual.

**Btv** 22-45 cm, bruno-avermelhado (2,5YR 3/3, úmida); muito argilosa; fraco a moderada e pequena a grande, blocos angulares, subangulares e prismática; slickenside moderado a forte; firme, muito plástica e pegajosa; transição plana e clara

**BC** - 45-60cm; coloração variegada composta de bruno-avermelhado (2,5YR 3/3, úmida) e bruno (7,5YR 5/4, úmida); Franco; fraca a moderada e média a grande bloco subangular; friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição abrupta e plana.

**Cr1**- 60-78cm ; Frente de alteração do material de origem com cor amarelada guardando a estrutura da rocha e com alguns veios de minerais escuros bem preservados e que se “esfarela” facilmente com a mão.

**Cr2** - 78-105 cm+; Material com características mais preservada do material de origem com uma ligeira orientação horizontalizada (xistosidade moderada) com presença de algumas alterações amareladas e outras bandas escuras mais preservadas. Na posição inferior, observa-se a presença de uma linha leucocrática na posição horizontal com aproximadamente 1,5cm de espessura.

**RAÍZES:** Poucas médias, comum e fina e raras e grossas no Ap, poucas finas e raras e médias no BA, raras e finas no Bt e BC e ausente em Cr1 e Cr2.

### **OBSERVAÇÕES:**

- Horizonte Cr (1ª parte frente de alteração bem típica maior alteração- 2ª parte menos alteração)
- Perfil descrito úmido.
- Pequenos mosqueados de cor preta (horizonte BC).
- Presença de óxidos de manganês no horizonte BC.

## C - ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

Horizontes	Frações da amostra total (%)				Composição granulométrica da terra fina (g kg <sup>-1</sup> )								Argila dispersa em água	Grau de flocculação	Silte Argila	Densidade (g cm <sup>-3</sup> )	Porosidade	
	Símbolo	Prof. (cm)	Calh aus > 20 mm	Cascalho 20-2 Mm	TFS A < 2 mm	Areia total 2-0,05 mm	Areia muito grossa 2-1 mm	Areia grossa 1-0,5 mm	Areia média 0,5-0,25 mm	Areia fina 0,25-0,10 mm	Areia muito fina 0,1-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm	(g kg <sup>-1</sup> )	(%)		Solo	Partícula
Ap	0-9	0	5	95	457	70	86	93	129	79	150	392	327	17	0,38	1,59	2,86	37,65
BA	9-22	0	6	94	448	64	84	88	127	85	161	389	324	17	0,41	1,81	2,74	30,38
Btv	22-45	0	3	97	336	29	70	97	55	85	144	436	419	4	0,33	1,86	2,78	30,60
BCv	45-60	0	5	95	484	26	65	107	186	100	134	389	276	29	0,34	1,71	2,86	39,79
Cr1	60-78	0	3	97	679	35	41	212	285	106	54	204	186	9	0,26	1,59	2,90	-
Cr2	78-105+	0	4	96	796	45	101	271	283	96	21	204	186	9	0,1	1,81	2,9	-

Horizontes	pH (1:2,5)	Complexo sortivo (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )											Valor V	m	P	PST	CL	COT	EST.	
		Água	KCl	ΔpH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup>	CTC Efetiva	CTC Potencial	At. Argila	(%)	(%)	mg kg <sup>-1</sup>	(%)	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>
Ap	5,8	5,2	-0,6	11,35	6,19	0,33	0,1	17,97	0,06	3,47	18,03	21,44	54,69	84	0,3	86,6	0,47	2,13	13,139	21,44
BA	6,8	5,6	-1,2	12,2	10,92	0,08	0,18	23,38	0,06	1,98	23,44	25,36	65,19	92	0,3	73,28	0,71	1,41	6,922	35,89
Btv	7,2	6,0	-1,2	11,15	11,28	0,06	0,18	22,67	0,13	1,24	22,80	23,91	54,84	95	0,5	71,65	0,75	0,90	5,438	15,09
BCv	7,4	6,1	-1,3	20,95	8,9	0,06	0,15	30,06	0,06	0,25	30,12	30,31	77,92	99	0,2	79,26	0,49	0,24	5,392	6,40
Cr1	7,3	6,1	-1,2	10,71	5,7	0,03	0,09	16,53	0,06	0,50	16,59	17,03	83,48	97	0,4	72,63	0,53	0,15	3,416	21,44
Cr2	6,9	5,7	-1,2	9,22	7,41	0,03	0,1	16,76	0,06	0,26	16,82	17,02	83,43	98	0,4	78,79	0,59	0,13	-	35,89

C



Figura 16. Solo irrigado sob cultivo de coentro - P1

## A - DESCRIÇÃO GERAL

### PERFIL 02

DATA - 30. 08. 2017

CLASSIFICAÇÃO SiBCS - LUVISSOLO CRÔMICO Órtico sódico vertissólico sálico, textura muito argilosa, A moderado, esmectítico-caulinítico, atividade muito alta, fase caatinga hiperxerófila, relevo suave ondulado, epipedregosa,

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS - Próximo ao cemitério d Sede do Perímetro Irrigado manga de baixo. Belém de São Francisco (PE), 08° 44' 26,1''S e 38° 51' 29,9'' W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Descrito e coletado em trincheira, terço superior de suave elevação com aproximadamente 3% de declive, sob cultivo vegetação nativa.

ELEVAÇÃO - 324 m.

LITOLOGIA -Anfibolitos do Pré-Cambriano.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA- Anfibolito/Xisto do Complexo Cabrobó

CRONOLOGIA - Holoceno.

MATERIAL ORIGINÁRIO - Produto da alteração da rocha supracitada.

PEDREGOSIDADE - Ligeiramente pedregoso.

ROCHOSIDADE - Ausente.

RELEVO LOCAL - Plano.

RELEVO REGIONAL - Plano e suave ondulado

EROSÃO - Laminar moderada

DRENAGEM - Moderadamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - Caatinga hiperxerófila.

USO ATUAL - Caatinga degradada

CLIMA - BSh, da classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR - José Coelho de Araújo Filho, Valdomiro Severino Sousa-Junior, Marilya Gabryella Fernanda de Sousa

## B - DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

**A**- 0-12 cm, vermelho (2,5 YR 5/6, seca) e bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmida); Franco-argiloso arenoso; fraco a moderada, pequena a média blocos angulares, ligeiramente duro, muito friável, plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e abrupta.

**Bt** - 12-45 cm, bruno-avermelhado (2,5 YR 4/4, seca) e bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmida); muito argilosa; moderada, pequena a grande blocos angulares, subangulares e prismática, slickenside abundante e forte, extremamente dura, firme, muito plástica e pegajosa; transição plana e clara.

**BC** - 45-60 cm, bruno-avermelhado (2,5 YR 4/4, seca) e bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmida); muito argilosa; fraca a moderada, pequena a grande blocos angulares, subangulares e prismática, slickenside abundante e forte extremamente dura, firme, muito plástica, pegajosa; transição plana e clara.

**C** - 60-71 cm, bruno-avermelhado (5 YR 5/4, seca) e bruno-avermelhado (5 YR 4/4, úmida); franco-argilo arenosa; fraca a moderada, pequena a grande bloco subangular, angular e prismática; slickenside abundante e fraco; extremamente dura, friável, plástica pegajosa; transição abrupta e ondulada.

**Cr** - 71-110+ cm, material com característica mais preservada do material de origem com uma ligeira orientação horizontalidade (xistosidade fraca) com presença de algumas alterações horizontalizadas diferenciadas no contexto geral. Na posição inferior, observa-se uma linha leucocrática na posição horizontal com aproximadamente 1,5 cm de espessura. Presença de veio de cor clara na forma de uma semi-parábola (com coloração semelhante aos mosqueados dos horizontes BC e C), localizado na porção esquerda da parede do perfil com espessura variando de 2 a 3 cm.

**RAÍZES:** Poucas médias, comum e finas e raras e grandes no horizonte A. Poucas e finas e raras e médias no horizonte Bt. Nos horizontes BC e C raras e finas e no Cr ausente.

### OBSERVAÇÕES:

- Infere-se que existe uma descontinuidade litológica do A em relação aos demais horizontes dado a presença de cascalho e calhaus desarestados na superfície do solo.

- Os mosqueados que aparecem nos horizontes BC e C referem-se a minerais primários em alteração.



### C - ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

Horizontes	Frações da amostra total (%)												Argila dispersa em água (g kg <sup>-1</sup> )	Grau de flocculação (%)	Silte Argila	Densidade (g cm <sup>-3</sup> )		Porosidade (%)
	Símbolo	Prof. (cm)	Calh aus > 20 mm	Cascalho 20-2 mm	TFS A < 2 mm	Areia total 2-0,05 mm	Areia muito grossa 2-1 mm	Areia grossa 1-0,5 mm	Areia média 0,5-0,25 mm	Areia fina 0,25-0,10 mm	Areia muito fina 0,1-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm				Argila <0,002 mm	Solo	
A	0-12	6	26	68	612	107	89	115	202	99	135	253	186	26	0,53	1,44	2,72	41,70
Btvnz	12-45	0	1	99	413	26	70	103	151	63	60	526	415	21	0,11	1,73	2,78	33,46
BCvnz	45-60	1	1	98	432	29	63	84	183	73	136	432	368	15	0,31	1,79	2,74	32,96
Cnz	60-71	0	1	99	503	13	31	91	266	102	98	396	282	29	0,25	1,76	2,88	34,33
Crnz	71-110 <sup>+</sup>	0	0	100	650	8	16	169	374	83	50	296	183	38	0,17	-	2,94	-

Horizontes	pH (1:2,5)			Complexo sortivo (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )										Valor V (%)	m (%)	P mg kg <sup>-1</sup>	PST (%)	C.L g kg <sup>-1</sup>	COT g kg <sup>-1</sup>	EST.C Mg.Ha <sup>-1</sup>
	Símbolo	Água	KCl	ΔpH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup>	CTC Efetiva	CTC Potencial							
A	5,0	4,1	-0,9	4,92	1,54	0,1	0,58	7,14	0,13	3,71	7,27	10,85	42,89	65,81	1,72	7,77	0,56	1,55	12,412	17,02
Btvnz	6,8	5,9	-0,9	9,89	9,64	1,24	0,08	20,85	0,13	0,99	20,98	21,84	41,52	95,47	0,60	0,30	6,89	0,72	6,288	15,56
BCvnz	7,0	6,0	-1,0	9,28	10,75	3,14	0,08	23,25	0,13	0	23,38	23,25	53,82	100,00	0,53	0,50	17,44	0,56	5,623	22,38
Cnz	6,9	5,8	-1,1	9,82	11,86	3,36	0,09	25,13	0,06	0	25,19	25,13	63,46	100,00	0,25	29,36	18,67	0,24	3,31	14,23
Crnz	6,7	5,3	-1,4	9,55	8,97	3,21	0,05	21,78	0,06	0	21,84	21,78	73,58	100,00	0,29	77,27	17,83	0,10	1,518	17,02



Figura 17. Solo não irrigado sob caatinga degradada - P2