

Aspectos de Manejo de Solos Frágeis em Perímetros Irrigados da Região Nordeste: Ênfase em Neossolo Quartzarênico



ISSN 1678-0892

Dezembro, 2014

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Embrapa Solos

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento* 246**

Aspectos de Manejo de Solos Frágeis em Perímetros Irrigados da Região Nordeste: Ênfase em Neossolo Quartzarênico

André Júlio do Amaral

Luís Carlos Hernani

Manoel Batista de Oliveira Neto

Tony Jarbas Ferreira da Cunha

José Ronaldo de Macedo

Luciano José de Oliveira Accioly

Adoildo da Silva Melo

Rio de Janeiro, RJ

2014

Embrapa Solos

Rua Jardim Botânico, nº 1.024, Jardim Botânico

CEP: 22460-000, Rio de Janeiro, RJ

Fone: (21) 2179-4500

Fax: (21) 2179-5291

www.embrapa.br/solos

www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê de Publicações da Embrapa Solos

Presidente: *José Carlos Polidoro*

Secretário-Executivo: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Membros: *Ademar Barros da Silva, Ademir Fontana, Adriana Vieira de Camargo de Moraes, Alba Leonor da Silva Martins, Enyomara Lourenço Silva, Joyce Maria Guimarães Monteiro, Luciana Sampaio de Araujo, Maria Regina Capdeville Laforet, Maurício Rizzato Coelho, Moema de Almeida Batista.*

Supervisão editorial: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Revisor de texto: *André Luiz da Silva Lopes*

Normalização bibliográfica: *Enyomara Lourenço Silva*

Editoração eletrônica: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Fotos da capa: *Manoel Batista de Oliveira Neto*

1ª edição

On-line (2014)

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Solos

A485a Amaral, André Júlio do.

Aspectos de manejo de solos frágeis em perímetros irrigados da região Nordeste: ênfase em Neossolo Quartzarênico / André Júlio do Amaral, Luís Carlos Hernani, Manoel Batista de Oliveira Neto, Tony Jarbas Ferreira da Cunha, José Ronaldo de Macedo, Luciano José de Oliveira Accioly, Adoildo da Silva Melo. – Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos; Recife, PE: Embrapa Solos – UEP Recife, 2014.

38 p.: il. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 246).

ISSN 1678-0892

1. Solo. 2. Manejo-Irrigação-Química. 3. Nordeste. 4. Petrolina, PE. I. Amaral, André Júlio do. II. Hernani, Luís Carlos. III. Oliveira Neto, Manoel Batista de. IV. Cunha, Tony Jarbas Ferreira da. V. Macedo, José Ronaldo de. VI. Luciano José de Oliveira Accioly. VII. Melo, Adoildo da Silva. Título. Série.

CDD 631.41

© Embrapa 2014

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução	9
Características Gerais	11
Material e Métodos	20
Resultados	22
Conclusões	34
Referências	35

Aspectos de Manejo de Solos Frágeis em Perímetros Irrigados da Região Nordeste: Ênfase em Neossolo Quartzarênico

André Julio do Amaral¹

Luís Carlos Hernani¹

Manoel Batista de Oliveira Neto²

Tony Jarbas Ferreira da Cunha³

José Ronaldo de Macedo¹

Luciano José de Oliveira Accioly¹

Adoildo da Silva Melo⁴

Resumo

Os solos arenosos apresentam fragilidade estrutural e textural. Atualmente, esses solos vêm sendo amplamente cultivados, com destaque para as culturas de mangueira e videira, em perímetros irrigados da região Nordeste. O objetivo deste trabalho foi avaliar alguns atributos físicos e químicos de um Neossolo Quartzarênico em área cultivada com a cultura da mangueira sob irrigação de longo prazo e uma área de referência (vegetação de caatinga). O estudo foi realizado, em área comercial em Petrolina-PE, Brasil. Foram coletadas amostras de solo em: 1) sob caatinga; 2) sob cultivo de mangueira (*Mangifera indica* L.), dispostas de forma pareada, em transecto contendo 10 pontos distanciados de 30 m entre si. Amostras compostas foram coletadas nas profundidades (m): 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,40; 0,40-0,60; 1,00-1,20; 1,60-1,80, no início do período chuvoso, em novembro de 2011. Em laboratório,

¹ Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ.

² Engenheiro-agrônomo, mestre em Agronomia, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ.

³ Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Semiárido, Petrolina, PE.

⁴ Engenheiro-agrônomo, técnico da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ.

determinaram-se a reação do solo pH-H₂O, cátions trocáveis (K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺), fósforo disponível (P-disp.) e o teor de carbono orgânico total. A CTC a pH 7,0 (T) e a saturação por bases (V%) foram calculadas. Para determinação dos atributos físicos foram coletadas amostras indeformadas, em anéis volumétricos (100 cm³), nas camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m. Determinaram-se o teor de água volumétrica na capacidade de campo (Θ cc), no ponto de murcha permanente (Θ pmp), densidade do solo, densidade de partículas, o volume de macro e de microporos e poros totais. A água disponível foi calculada pela diferença entre (Θ cc) e (Θ pmp). Os resultados indicam elevação do pH-H₂O, K⁺, P-disp, Ca²⁺ e V% em área de fruticultura irrigada, em especial, na camada de 0,00-0,10 m do solo e menores teores de Al³⁺. A adubação com potássio e fósforo, em sistemas irrigados de produção de manga incrementa a translocação desses nutrientes para camadas profundas do solo. O cultivo de mangueira irrigada após 20 anos promoveu redução do volume de macroporos na camada de 0,0-0,10 m do solo. No entanto, não foi suficiente para indicar um grau acentuado de compactação. Os atributos químicos e físicos se correlacionaram de forma linear e positiva com os teores de carbono orgânico. Isso demonstra a importância de estratégias de manejo que visem o incremento de matéria orgânica do solo, em clima semiárido.

Termos para indexação: qualidade do solo, atributos físicos e químicos, carbono orgânico, clima semiárido.

Management Aspects of Fragile Soils in Irrigated Perimeters at Northeast Region of Brazil: emphasis in Entisol Quartzipsamments

Abstract

*Sandy soils have structural and textural fragility. Currently, these soils has been widely cultivated, especially the mango and grape crops in irrigated areas of the Northeast. The aim of this study was to evaluate some physical and chemical attributes in Entisol Quartzipsamment under long-term irrigation system farm (Mango orchard) and a reference area of drylands (Caatinga forest). The study carried out in a commercial area in Petrolina-PE, Brazil. We collected soil samples in two places: 1) under Caatinga; 2) under mango orchard (*Mangifera indica* L.), in transect containing 10 points spaced 30 m apart approach. Composite soil samples collected at six depths (m): 0.00-0.10; 0.10-0.20; 0.20-0.40; 0.40-0.60; 1.00-1.20; 1.60-1.80 at the beginning of rainy season in November 2011. In laboratory, we determined the response of soil pH-H₂O, exchangeable cations (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+}), available phosphorus (P-disp.) and total organic carbon. The CEC at pH 7.0 (T) and base saturation (V%) were calculated. To determine the physical attributes undisturbed soil samples were collected from soil core (100 cm³), at depths 0.00-0.10 m and 0.10-0.20 m. We determined volumetric water content at field capacity (Θ_{cc}), permanent wilting point (Θ_{pmp}), macro, micro and total pores volume, global and real density of soil. Available water has calculated by difference between (Θ_{cc}) and*

(Θ pmp). The results showed higher levels of pH-H₂O, K⁺, P-disp, Ca²⁺ and V% on irrigated area at 0.00-0.10 m and lower levels of Al³⁺. A fertilizer with potassium and phosphorus in irrigated production systems sleeve increases the translocation of these nutrients to deep soil layers. This type of use promote changes in porosity of the soil. However, were not enough to cause further compaction. The chemical and physical attributes correlated linearly and positively with organic carbon form. This showed the importance of management strategies aimed at the increase of soil organic matter in semiarid climate.

Index terms: soil quality; chemical and physical attributes; organic carbon, semiarid climate.

Introdução

A parte mais externa do planeta Terra é composta pela litosfera, hidrosfera, biosfera e atmosfera. O solo, produto da interação da litosfera com as demais esferas, ao longo do tempo, apresenta grande diversidade de organismos e compostos orgânicos e inorgânicos, servindo como filtro e armazenador de água, carbono e nitrogênio. É de fundamental importância para a manutenção da biosfera terrestre, caracterizando-se como um componente do ecossistema que se encontra em equilíbrio dinâmico (LEPSCH, 2002; MENDONÇA; FERNANDES, 2010). Por outro lado, o agroecossistema pode ser definido como um ecossistema onde o homem promove intervenções e utiliza o solo e os demais componentes ambientais, para fins agrícolas (produção de alimentos, fibras e energia). Na maioria das situações os agroecossistemas promovem perturbações que alteram o equilíbrio entre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, comprometendo, por exemplo, a qualidade estrutural do mesmo e o exercício de suas múltiplas funções. Dentre as quais, citam-se: servir de meio para o crescimento e desenvolvimento de plantas, reter e liberar água e nutrientes para as culturas agrícolas, regular os fluxos de água superficiais e subsuperficiais; armazenar, deixar fluir calor e gases, auxiliar na composição regular da atmosfera (DORAN; PARKIN, 1994; BRONICK; BRADY; WEIL, 2008). Tais efeitos, que podem também ser denominados serviços ambientais, exercidos pelo solo, podem ser influenciados em maior ou menor grau pelo padrão de manejo do agroecossistema adotado em uma dada área.

No Bioma Caatinga, as áreas de clima semiárido apresentam precipitação pluviométrica média anual entre 400 mm e 800 mm e evapotranspiração média anual de 1.500 mm a 2.000 mm, com chuvas irregulares e concentradas em 2 a 3 meses do ano (SUDENE, 1985). Em virtude da grande restrição hídrica e da distribuição irregular das chuvas, a prática da irrigação é fundamental para garantir a produção agrícola, mas exige manejo adequado para evitar a salinização do solo (QUEIROZ et al., 2010).

No ambiente semiárido destacam-se grandes extensões de solos jovens, e também alguns ambientes com solos evoluídos e profundos (CUNHA et

al., 2008). Entre os solos menos evoluídos, destacam-se os considerados frágeis, por apresentarem características intrínsecas que lhes conferem elevada suscetibilidade à degradação física, química ou biológica e requererem estratégias especiais de manejo e conservação para o uso sustentável. São exemplos de solos frágeis os classificados como Neossolos (Quartzarênico, Regolítico, Litólico), Planossolos, Vertissolos e Cambissolos. Já no contexto dos solos mais desenvolvidos, os considerados mais frágeis são aqueles que apresentam textura relativamente arenosa na superfície, como se verifica em alguns solos das classes dos Argissolos (os arênicos e espessarênicos) e de Latossolos (os psamíticos).

Os solos arenosos são denominados frágeis devido as suas características intrínsecas: textura arenosa, baixa disponibilidade de nutrientes, alta drenabilidade, reação ácida e estrutura em grãos simples (ALBUQUERQUE et al., 2011). Tais características limitam o uso destes solos para fins agrícolas, em área dependente de chuva (agricultura de sequeiro). No entanto, com a adoção de sistemas de irrigação associados ao uso simultâneo de fertilizantes (fertirrigação) tais solos vêm sendo amplamente utilizados para a produção de fruteiras de alto valor comercial, impulsionando a economia regional. Nesses agrossistemas irrigados, utilizam-se mecanização e aplicação de insumos que podem superar a capacidade de adsorção do solo e, assim, promover perdas por lixiviação, aumentando os custos de produção e os riscos de contaminação de águas subsuperficiais. O acompanhamento “in loco” destes sistemas de produção é importante para subsidiar estratégias de manejo de forma integrada em função da sua fragilidade estrutural e textural.

Este trabalho tem como objetivos apresentar e discutir resultados referentes à caracterização de atributos físicos e químicos de um Neossolo Quartzarênico órtico típico, em área de fruticultura irrigada por longo prazo, comparados a uma área adjacente de vegetação secundária de caatinga hiperxerófila (referência), em Petrolina, PE.

Características Gerais

Área de Estudo

A Rede de Pesquisa Brasileira em Solos Frágeis surgiu a partir do Projeto “Novos paradigmas no conhecimento de solos frágeis para a produção agrícola sustentável do Brasil - FRAGISSOLOS”. As áreas de estudos localizam-se na Mata Atlântica, em Botucatu, SP, no Cerrado do Oeste de Goiás, em Mineiros, GO, no Oeste da Bahia, em Luís Eduardo Magalhães, BA e no Bioma Caatinga, em Petrolina, PE (Figura 1).



Figura 1. Áreas de atuação da Rede Solos Frágeis com destaque para área de estudo inserida no Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho (N-10) e a Fazenda Boa Esperança, em Petrolina, PE.

A área de estudo em Petrolina apresenta relevo plano e extensão aproximada de 996 ha, a qual encontra-se inserida no Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho (N-10). Nesta área, consta um polígono de 215 ha, pertencente à Fazenda Agropecuária Boa Esperança (Figura 1), que tem como principal atividade econômica a fruticultura irrigada com a produção de manga (*Mangifera indica* L.) desde 1992. O sistema de irrigação é localizado do tipo micro aspersão e utiliza água proveniente do Rio São Francisco.

A vegetação nativa é a caatinga hiperxerófila. O clima é semiárido (Bsh, segundo Köppen) com precipitação média anual de 570 mm e chuvas concentradas no período de novembro a abril.

Geologia e Tipos de Solo

No Semiárido, além do clima, a geologia e o material de origem, em função da grande diversidade litológica, exercem grande papel na formação dos solos. Segundo Brasil (1974) e Jacomine (1996), destacam-se na região: áreas do cristalino, com predomínio de gnaisses, granitos, migmatitos e xistos e áreas do cristalino recobertas por materiais arenosos ou argilosos; áreas sedimentares com materiais aluviais recentes, relacionados ao período do Holoceno; sedimentos predominantemente arenosos e calcários relacionados ao período cretáceo; arenosos e areno-argilosos e capeamentos de materiais da mesma natureza relacionados ao Terciário; arenitos e mistura destes com sedimentos mais argilosos relacionados ao Devoniano médio e inferior e ao Siluriano. A geologia da região de estudo é caracterizada pela presença de rochas cristalinas, seguidas de áreas sedimentares do terciário. Com predomínio de áreas do cristalino recobertas por sedimentos arenosos do terciário e quaternário. Por essa razão, observa-se a ocorrência de Neossolos Quartzarênicos órticos típicos ou, em alguns casos, com o caráter latossólico, amplamente utilizados com fruticultura irrigada e, nas áreas de menor cota, associado à presença de sedimentos do Holoceno, encontram-se Planossolos Háplicos, atualmente em pousio, em função do seu baixo potencial agrícola (baixa profundidade efetiva e risco de salinização). Perfil de Neossolo Quartzarênico em área de caatinga pode ser visualizado na Figura 2.

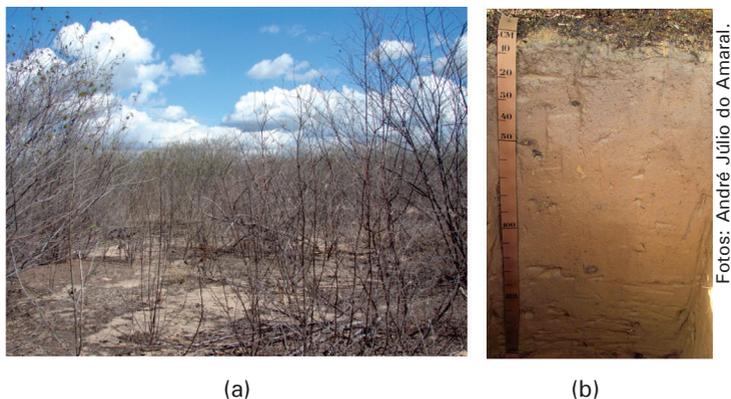


Figura 2. Paisagem de ocorrência, vegetação de caatinga hiperxerófila (a) e perfil de Neossolo Quartzarênico (b), em Petrolina, PE.

Os Neossolos Quartzarênicos são profundos, de textura arenosa, quartzosos, tendo nas frações areia grossa e areia fina 95% ou mais de quartzo, calcedônia e opala e, praticamente, ausência de minerais primários alteráveis (menos resistentes ao intemperismo), excessivamente drenados, apresentam cores claras e baixa fertilidade natural. Normalmente, ocorrem em relevo plano e são desenvolvidos de materiais de origens sedimentares.

Em consequência da textura arenosa, são muito porosos e com elevada permeabilidade (CUNHA et al., 2010). Ocupam maiores extensões nos estados do Piauí, Bahia, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Ceará. As áreas onde predominam esses solos perfazem um total de 69.625 km² e constituem 9,3% da região semiárida (JACOMINE, 1996).

Grau de fragilidade em relação aos principais processos de degradação dos solos

O solo é compreendido como um sistema natural, organizado, fruto da ação combinada do clima e dos organismos vivos, atuando sobre determinado material de origem, em dado intervalo de tempo, condicionado pelo relevo (JENNY, 1941). Caracteriza-se por ser um sistema complexo. Estende-se desde a superfície até o contato com a rocha, organizado em sequência de camadas ou horizontes pedogenéticos específicos que ocorreram ao longo de sua formação (KER et al., 2012).

Atualmente, uma das preocupações da sociedade está relacionada ao aumento populacional que tende a gerar uma pressão de uso sobre os recursos naturais água e solo, principalmente em função da necessidade de atender a demanda por alimentos, fibras e energia.

O Brasil se destaca no setor do agronegócio, como sendo um dos maiores produtores e exportadores de produtos agrícolas. Além disso, o uso do solo para produção de alimentos pela agricultura familiar é a principal fonte responsável por atender às demandas internas do país. No entanto, o padrão de manejo adotado nas áreas agrícolas tanto a nível empresarial quanto familiar pode comprometer a qualidade do solo para o exercício de suas funções, causando a sua degradação física, química e biológica, ocasionando danos de ordem ambiental e socioeconômica (KUYKENDALL, 2008).

A forma mais severa de degradação do solo em áreas agrícolas é a erosão acelerada, provocada por intervenções antrópicas. Esse processo físico ocorre em grandes extensões territoriais, causando danos tanto no local de origem (reduzindo a capacidade produtiva do solo) quanto fora dele, comprometendo a qualidade dos recursos hídricos (LAL, 1993). A Figura 3 ilustra os principais tipos e mecanismos de degradação do solo, com destaque para aqueles produzidos pela ação antrópica.

Em relação aos processos ilustrados na figura 3, constata-se que os solos podem apresentar diferentes graus de fragilidade, determinados por suas características intrínsecas definidas pelos processos naturais de formação. A ação antrópica no intuito de utilizar os solos induz um acréscimo no grau de sua fragilidade, em função de processo ou fator, força ou ação externa a que estão sendo submetidos. O estabelecimento de uma escala de fragilidade é dificultada pelos diferentes tipos de uso e manejo aos quais o solo pode ser submetido. No entanto, Albuquerque et al. (2011) acrescentam como fatores limitantes ao estabelecimento dessa escala de fragilidade, os relativos aos processos naturais de formação, tais como, classes de declividade, cobertura vegetal, entre outros.

Nesse contexto, o conhecimento de solos em sua ambiência é de es-

sencial importância para estabelecer áreas aptas ao uso agrícola, bem como para tratar cada classe de solo de acordo com suas necessidades (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1999).

No caso dos Neossolos Quartzarênicos no ambiente semiárido é possível fazer algumas inferências quanto aos processos que podem levar a sua degradação pela ação antrópica, em função de suas propriedades físicas e químicas. São caracterizados por apresentarem teores elevados de areia (90% ou mais), desde a superfície até as camadas mais profundas, em relevo plano, e desenvolvidos de materiais sedimentares (CUNHA et al., 2010). Apresentam fragilidade textural e estrutural, associada à pequena agregação das partículas (baixo teor de argila), baixo teor de matéria orgânica, baixa CTC e alta drenabilidade. Essas propriedades, sozinhas ou combinadas, fazem com que estes solos apresentem alta susceptibilidade à erosão hídrica ou eólica, baixa capacidade de retenção de água e maior propensão natural à perda de nutrientes por lixiviação (ALBUQUERQUE et al., 2011).

Os solos arenosos são considerados menos susceptíveis à compactação quando comparados aos solos argilosos (KLEIN, 2008). No entanto, atenção deve ser dada quando se utiliza o tráfego e o revolvimento intensivo do solo, especialmente em áreas com culturas anuais e com predomínio de areia muito fina na composição granulométrica. Alguns trabalhos apontam que o uso agrícola, em perímetros irrigados na região de estudo, promove alterações em características químicas e físicas do Neossolo Quartzarênico, com destaque para elevação dos teores de fósforo, potássio e CTC e redução da densidade do solo, em áreas de fruteiras (mangueira e videira) quando comparado a culturas anuais (hortaliças) e vegetação de caatinga. Essas alterações são mais evidentes na camada de 0-20 cm do solo (FARIA et al., 2007; SILVA; ARAÚJO, 2005). São ainda escassos e insuficientes os estudos relacionados com o uso mais intensivo destes solos com sistemas de manejo conservacionistas, que podem ter sua fragilidade natural reduzida ou aumentada quando comparados às áreas naturais (AMADO et al., 1999; ALBUQUERQUE et al., 2011).

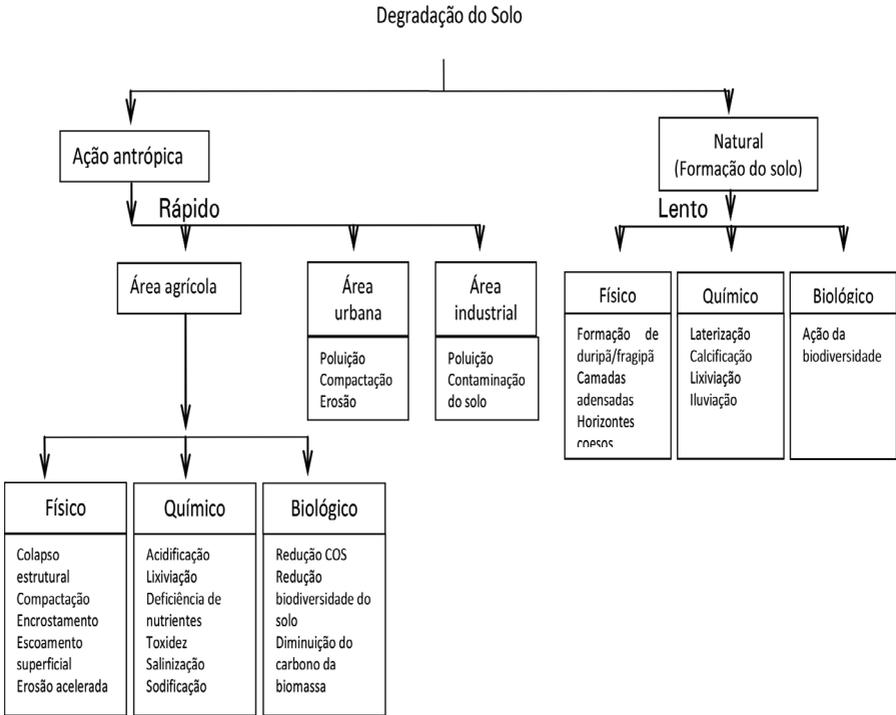


Figura 3. Principais tipos de degradação do solo (i) natural e (ii) antrópico, associados aos processos de ocorrência.

Fonte: adaptado de Lal et al. (1997).

Denota-se então que os Neossolos Quartzarênicos sob caatinga são física e quimicamente frágeis. No entanto, com o advento de sistemas de irrigação localizada, associada ao uso com culturas perenes e de práticas conservacionistas adequadas que visem a incrementar o teor de matéria orgânica é possível melhorar, em médio e longo prazos, suas propriedades físicas (por exemplo, agregação) e, portanto, a sua qualidade e potencialidade agrícola. Atenção deve ser dada, no entanto, ao movimento de nutrientes e metais pesados no perfil do solo, para evitar além de perdas econômicas a contaminação dos aquíferos.

Tipo de uso e manejo dos solos em perímetros irrigados da região Nordeste: ênfase em Neossolo Quartzarênico

Ao longo das últimas décadas, os solos de textura arenosa vêm sendo bastante utilizados em perímetros irrigados, principalmente na região Nordeste do Brasil, em clima semiárido, com destaque para o uso com fruticultura em áreas expressivas ocupadas com as culturas de manga, uva, goiaba, acerola, coco e banana, entre outras. Os casos de sucesso no uso dessas áreas apresentam forte relação quanto ao método e manejo da irrigação. Para implantação destas culturas normalmente é utilizado o preparo mecânico com aração e gradagem, deixando a superfície do solo totalmente descoberta, o que aumenta as perdas de água por evaporação e o deixa passível de sofrer os processos físicos de degradação, com destaque para selamento, crosta superficial e erosão hídrica. As condições físicas de superfície do solo, após o preparo mecânico, e o aspecto de áreas cultivadas com diferentes culturas, com destaque para as fruteiras de clima tropical são apresentados na Figura 4.

Uma das principais frutas de alto valor comercial produzida na região é a manga (*Mangifera indica* L.) que é um elemento chave da economia regional. Aproximadamente 92% da manga que é exportada pelo Brasil é produzida no polo Petrolina, PE – Juazeiro, BA (RIBEIRO et al., 2009; SILVA et al., 2012).

No entanto, este impulso econômico só é possível com a aplicação intensiva de capital, uso de agricultura mecanizada, e altas taxas de aplicação de insumos associado ao sistema de irrigação localizada (SILVA; ARAÚJO, 2005; AMARAL et al., 2011). O uso intensivo de solos arenosos (ácidos, baixa fertilidade e de alta drenabilidade) desperta preocupação quanto ao risco de contaminação dos recursos hídricos por metais pesados presentes nos fertilizantes e pesticidas que são aplicados ou pelo acúmulo destes elementos no solo (SILVA et al., 2012). Uma alternativa para minimizar estes riscos é aumentar o aporte de matéria orgânica ao solo, que além de contribuir com a disponibilidade de nutrientes, favorece a agregação, aumenta a retenção de água e pode reduzir a atividade de elementos tóxicos na solução do solo (BAYER; MIELNICZUK, 2008).

A caracterização de atributos físicos e químicos do solo, em áreas sob uso com fruticultura irrigada comparada a vegetação de caatinga sob solos arenosos é importante para subsidiar estratégias de manejo que visem o aprimoramento dos sistemas de produção na região.

Fotos: Manoel Batista de Oliveira Neto.



Figura 4. Condição física de superfície do solo após preparo mecânico (A) em sistema de irrigação por aspersão ao fundo (B), uso do solo com fruticultura, cultura da melancia (C) e uva (D), área recentemente implantada de cultura da manga com irrigação localizada (E), área de manga com irrigação localizada de longo prazo (F), em Petrolina, PE.

Qualidade do solo em sistemas de produção: atributos físicos e químicos

Existem inúmeras definições para qualidade do solo disponíveis na literatura (DORAN; PARKIN, 1994; LAL, 1993; LARSON; PIERCE, 1994; KARLEN et al., 1997). Schojonning et al. (2004) definem qualidade do solo como sendo *“a capacidade de um solo exercer suas funções dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade de plantas e de animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde das plantas, dos animais e dos homens”*.

As propriedades físicas, químicas e biológicas do solo são consideradas elementos chave e influenciam diretamente na qualidade do solo. Estas propriedades variam em função do tipo de solo, do uso e principalmente pelo manejo do solo adotado (LAL et al., 1997).

Vezzani et al. (2008) indicam que a matéria orgânica do solo é um fator determinante na qualidade do solo, pois as funções que ela exerce estão intimamente associadas com propriedades emergentes de caráter físico, quais sejam: a) estrutura do solo, b) volume total de poros, c) relação entre macro e microporos, d) densidade do solo, e) resistência do solo à penetração de raízes, f) condutividade hidráulica, g) infiltração de água, h) retenção e armazenamento de água; propriedades emergentes de caráter químico: a) pH; b) alumínio trocável, c) disponibilidade de nutrientes, d) capacidade de troca de cátions, e) saturação por bases; e propriedades emergentes de caráter biológico; a) biodiversidade, b) carbono da biomassa microbiana. Essas propriedades atuando em conjunto promovem a qualidade do solo.

Tendo-se isso como base, buscou-se avaliar alguns desses indicadores físicos e químicos de qualidade em um Neossolo Quartzarênico, em área de vegetação de caatinga e em área comercial cultivada com Mangueira (*Mangifera indica* L.) irrigada há 20 anos, em Petrolina, PE, para verificar o grau de alteração nesses atributos em função do padrão de manejo atual.

Material e Métodos

O estudo foi realizado em área da Fazenda Agropecuária Boa Esperança, Petrolina, PE, de coordenadas 9° 23' 39" S e 40° 30' 35" W. A vegetação nativa é a caatinga hiperxerófila; o relevo é plano; e o clima é semiárido, com precipitação média anual de 570 mm e chuvas concentradas no período de novembro a abril. A fruticultura irrigada é a principal atividade econômica, com aplicação localizada de água proveniente do Rio São Francisco. O solo do local é o Neossolo Quartzarênico órtico típico (EMBRAPA, 2013).

O uso e a cobertura do solo foram mapeados por meio da interpretação visual de imagem de alta resolução espacial do sensor WorldView II com data de passagem em 20 de setembro de 2012. As principais classes encontradas e suas respectivas áreas (em hectares) foram as seguintes: caatinga (589); mangueira (191); área em pousio (62); solo exposto (52); videira (39). Juntas, estas classes de cobertura ocupam 94% da área total.

De posse de informação de imagens de satélite e a partir do conhecimento das linhas de drenagem foram pré-estabelecidos dois transectos em duas áreas adjacentes dispostos de forma pareada: 1) Vegetação de caatinga; 2) Pomar comercial de mangueira (*Mangifera indica* L.). Em cada um dos transectos foram demarcados dez pontos, espaçados 30 m um do outro. Todos os pontos foram georreferenciados utilizando GPS de navegação (Figura 5).

Em novembro de 2011, no início do período chuvoso, foi realizada a amostragem para avaliação de atributos do solo. Com trado de caneco foram coletadas amostras compostas em seis profundidades (m): 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,40; 0,40-0,60; 1,00-1,20; 1,60-1,80, em cada um dos pontos georreferenciados para caracterização química do solo nas duas áreas estudadas. Na área de mangueira as amostras foram coletadas na projeção da copa das árvores.

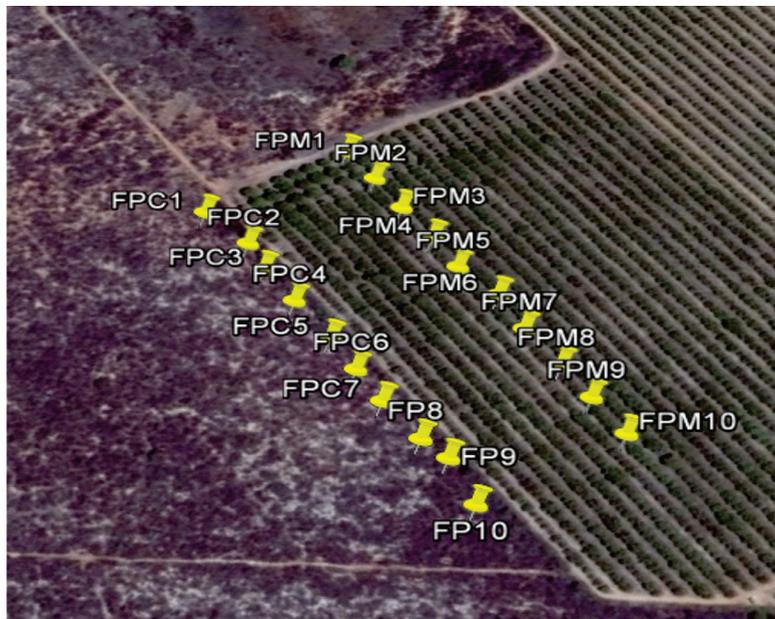


Figura 5. Distribuição dos pontos em área de caatinga (esquerda) e de mangueira irrigada (direita), em Petrolina, PE.

Fonte: Google Earth.

As amostras deformadas foram secas ao ar, homogeneizadas e passadas em peneira de 2,0 mm. Em seguida procederam-se as seguintes análises: pH-H₂O determinado usando a relação solo: solução de 1:2,5. Os cátions trocáveis (Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺) foram extraídos com solução KCl 1 mol L⁻¹. O fósforo disponível (P-disp.) e o potássio trocável (K⁺) foram extraídos com solução de Mehlich 1 e quantificados por colorimetria e espectrometria de chama, respectivamente. Os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ foram determinados por espectrofotômetro de absorção atômica e de Al³⁺ por titulometria. O teor de carbono orgânico total foi determinado em amostras moídas a 100 mesh via oxidação úmida por dicromato de potássio em meio fortemente ácido. A CTC a pH 7,0 (T) e a saturação por bases (V%) foram obtidas por cálculo.

Para determinação dos atributos físicos foram coletadas amostras indeformadas, em anéis volumétricos (100 cm³), nas camadas de 0-0,10 m

e 0,10-0,20 m. No laboratório, as amostras foram devidamente identificadas e submetidas à saturação lenta por capilaridade, posteriormente foram pesadas e colocadas na mesa de tensão (0,01 MPa). Após equilíbrio, determinaram-se o teor de água volumétrica na capacidade de campo (Θ_{cc}), o volume de macro e de microporos, e posteriormente submetidas a tensão de 1,5 MPa, em extrator de Richards até atingir equilíbrio, para obtenção do teor de água volumétrica no ponto de murcha permanente (Θ_{pmp}). A água disponível foi calculada pela diferença entre (Θ_{cc}) e (Θ_{pmp}). Ao final, determinaram-se as densidades do solo e de partículas e o volume de poros totais.

As determinações dos parâmetros físicos e químicos do solo foram realizadas no laboratório de análises de solo e planta – LASP da Embrapa Solos e seguiram os procedimentos descritos em Embrapa (1997).

Os resultados foram analisados com base na estatística descritiva e as médias comparadas pelo teste t ($p < 0,05$). Para as correlações lineares foi aplicado o teste t ($p < 0,01$ e $0,05$).

Resultados

Atributos químicos

Os teores de carbono orgânico (CO), Figura 6, apresentaram distribuição semelhante a outros solos, com valores característicos de clima semiárido, maiores teores em superfície e decréscimo com o aumento da profundidade (CUNHA et al., 2008; SIQUEIRA NETO et al., 2009). Na área de mangueira irrigada, os teores de carbono orgânico do solo ($4,5 \text{ g kg}^{-1}$) foram maiores ($p < 0,05$) do que na caatinga ($2,9 \text{ g kg}^{-1}$) na camada de 0-0,10 m do solo. Nas demais profundidades os teores foram similares entre as duas áreas, com ligeira tendência de superioridade a partir de 0,60 m do solo sob caatinga (Figura 6).

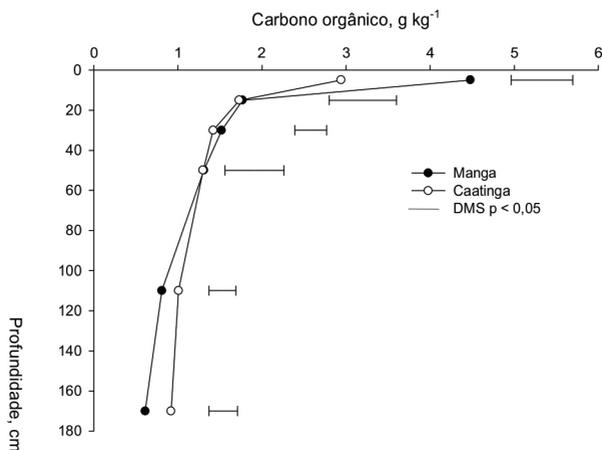


Figura 6. Teores de carbono orgânico (g kg⁻¹) no solo em área de vegetação de caatinga e de mangueira, em Petrolina, PE. Barra horizontal: diferença mínima significativa (DMS) pelo teste t ($p < 0,05$).

As diferenças nos teores de CO encontrados para as duas áreas avaliadas, especialmente na camada de 0-0,10 m do solo, podem ser atribuídas ao tipo e tempo de uso do solo e a forma de manejo dos resíduos culturais e ao clima semiárido. Isso porque nas áreas de vegetação caatinga o aporte de matéria orgânica é bastante reduzido devido principalmente à grande restrição hídrica (MARIN et al., 2006). Por outro lado, nos pomares irrigados, essa restrição não ocorre e as plantas perenes (mangueira) não sofrem tal limitação. Com isso, em adição as fontes orgânicas adicionadas ao solo para fins de adubação, nos primeiros anos de implantação do pomar (dejetos de caprinos); o aporte de material orgânico (folhas, raízes, restos de poda, espécies espontâneas) ao longo do tempo ocorre com maior frequência e em maior quantidade na área cultivada e, estes são comumente deixados na lavoura, contribuindo com o aporte de matéria orgânica no solo. Resultados semelhantes foram obtidos por Marin et al. (2006) em sistemas agroflorestais e por Faria et al. (2007) em áreas de fruteiras, na mesma região deste estudo.

Há que se ressaltar, no entanto, que mesmo no sistema de mangueira irrigada, o teor de matéria orgânica da camada superficial ainda está

abaixo de 10 g kg^{-1} , indicando ser este um dos fatores que devem ser significativamente estudados e melhorados.

Os valores de $\text{pH-H}_2\text{O}$ variaram de 4,8 a 5,2 e de 4,7 a 6,3 nas áreas de vegetação de caatinga e mangueira, respectivamente (Tabela 1). Os maiores valores foram encontrados na superfície com decréscimo em profundidade e superiores ($p < 0,05$) na área de mangueira. Os valores de $\text{pH-H}_2\text{O}$ estão dentro da faixa esperada para Neossolos Quartzarênicos de clima semiárido (SILVA; ARAÚJO, 2005; FARIA et al., 2007; CUNHA et al., 2008), em áreas cultivadas com fruteiras sob irrigação.

Por se tratar de uma área comercial, o uso de corretivos é recomendado, por isso, maiores valores de pH encontrados, na área de mangueira, são decorrentes da aplicação de corretivos, e se encontram em faixa ideal para a cultura (5,5 a 6,2) até a profundidade de 0,4 m, a partir da qual apresentam reação fortemente ácida ($< 5,5$). Na área de vegetação nativa, os valores de $\text{pH-H}_2\text{O}$ apresentam reação fortemente ácida em todas as camadas avaliadas, conforme a Embrapa (2013). Em função disso, os valores de alumínio trocável foram superiores ($p < 0,05$) no solo sob caatinga em relação à área com a mangueira, tendendo a aumentar em profundidade, exceto na camada de 1,6 – 1,8 m, onde os valores não diferiram (Tabela 1).

Valores mais elevados de pH determinaram maior disponibilidade de nutrientes, enquanto o aumento nos teores de fósforo disponível, potássio, cálcio e magnésio trocáveis foi devido à fertilização e correção do solo ocorrida no sistema com mangueira. Tais efeitos, associados aos incrementos em CO_2 , se refletiram em maiores valores em capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V%), na área de mangueira em relação à de caatinga (Tabela 1).

Tabela 1. Valores médios (n=10) de pH-H₂O, fósforo disponível, potássio (K⁺), cátions trocáveis (Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions potencial (T) e saturação por bases (V%) para diferentes camadas do solo, em área de Caatinga e Mangueira irrigada, em Petrolina, PE.

Camada	Uso do solo	pH-H ₂ O	P-disp	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	SB	T	V
m		mg dm ⁻³cmol _c dm ⁻³			%
0,0-0,10	Caatinga	5,2 b	4,90 b	32 b	1,22 b	0,79 a	0,18 a	2,1 b	3,7 b	56 b
	Manga	6,2 a	20,0 a	154 a	2,50 a	1,08 a	0,01 b	4,0 a	5,1 a	79 a
	DMS	0,44	3,6	44	0,55	0,29	0,12	0,7	1,15	10,2
	CV (%)	8,0	29	47	30	31	138	21	26	15
0,10-0,20	Caatinga	5,0 b	1,70 b	28 b	0,67 b	0,62 b	0,22 a	1,4 b	2,8 a	50 b
	Manga	5,9 a	7,60 a	93 a	1,10 a	0,81 a	0,06 b	2,1 a	3,3 a	64 a
	DMS	0,40	2,0	35	0,27	0,19	0,08	0,4	0,56	12,3
	CV (%)	7,0	43	58	30	26	59	21	18	21
0,20-0,40	Caatinga	4,9 b	0,98 b	21 b	0,58 b	0,63 b	0,37 a	1,3 b	2,7 b	47 a
	Manga	5,7 a	2,84 a	66 a	0,85 a	0,89 a	0,11 b	1,9 a	3,4 a	55 a
	DMS	0,27	1,2	23	0,26	0,22	0,10	0,3	0,51	8,7
	CV (%)	5	63	52	36	28	42	21	16	17
0,40-0,60	Caatinga	4,9 b	0,91 a	26 b	0,52 a	0,51 a	0,51 a	1,1 b	2,8 a	39 a
	Manga	5,3 a	2,86 a	46 a	0,68 a	0,66 a	0,27 b	1,5 a	3,1 a	48 a
	DMS	0,21	3,2	13	0,28	0,26	0,19	0,3	0,62	12
	CV (%)	4	98	37	45	43	49	26	21	28
1,00-1,20	Caatinga	4,8 b	0,27 b	23 b	0,42 a	0,46 a	0,70 a	0,9 a	2,4 b	38 a
	Manga	5,0 a	0,80 a	40 a	0,41 a	0,68 a	0,48 b	1,2 a	3,2 a	37 a
	DMS	0,22	0,43	15	0,18	0,32	0,17	0,5	0,65	11
	CV (%)	4	74	44	39	52	27	40	22	26
1,60-1,80	Caatinga	4,8 a	0,19 b	17 a	0,36 a	0,42 a	0,64 a	0,8 a	2,1 b	40 a
	Manga	4,7 b	0,50 a	29 a	0,39 a	0,50 a	0,65 a	0,9 a	2,9 a	33 a
	DMS	0,06	0,29	16	0,28	0,15	0,14	0,44	0,71	9
	CV (%)	2	72	56	63	28	19	42	25	21

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, em cada profundidade, não diferem entre si pelo teste t p < 0,05. DMS= diferença mínima significativa; CV= coeficiente de variação.

Tais diferenças foram mais acentuadas na camada de 0-0,10 m e foram verificadas até a camada 0,4-0,6 m do solo (Tabela 1). Outros trabalhos também encontraram maiores teores de nutrientes (P-disp., K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}), CTC e V% nas camadas superficiais correlacionados com os teores de matéria orgânica do solo, fato atribuído a ciclagem de nutrientes com a decomposição dos resíduos culturais na superfície do solo (FARIA et al., 2007; SIQUEIRA NETO et al., 2009). É importante considerar que os teores de K^+ e de P-disp foram significativamente maiores na área com mangueira do que na caatinga, em todas as camadas estudadas, refletindo efeitos da fertilização e indicando haver evidente translocação desses nutrientes para camadas mais profundas do solo. Além de cuidados imediatos no uso desses nutrientes verifica-se a urgente necessidade de maiores estudos dos processos associados ao manejo da nutrição das áreas produtoras de manga no sentido de se ter maior eficiência do uso e menores riscos de contaminação de águas sub-superficiais de áreas devido à fertilização com esses nutrientes em cultivos irrigados.

Os atributos químicos avaliados apresentaram correlação (r) linear positiva, exceto para os teores de Al^{3+} (r negativo) e $pH-H_2O$ (em área de caatinga, r não significativo) com os teores de CO do solo (Tabela 2). Isso foi mais evidenciado na camada de 0-0,10 m do solo, onde os teores de CO são maiores (Figura 6), então, em geral, foram observados maiores valores de r para área de mangueira do que de caatinga (Tabela 2). A relação negativa entre CO e Al^{3+} pode ser explicada pela presença de ácidos orgânicos que formam quelatos entre o Al^{3+} e o material orgânico reduzindo a atividade deste elemento na solução do solo (BAYER; MIELNICZUCK, 2008). Resultados semelhantes foram encontrados por Siqueira Neto et al. (2009) que avaliaram as relações do CO total do solo com atributos químicos em diferentes usos no Bioma Cerrado.

Tabela 2. Correlação (r) entre os teores de carbono e atributos químicos do solo (pH-H₂O; potássio, fósforo, alumínio, cálcio, magnésio, soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions potencial (T) e saturação por bases (V%) em área de caatinga e mangueira irrigada, em Petrolina, PE.

Área ¹	pH ₂ O ²	K ⁺	P	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	T	V%
Caatinga	0,26 ^{ns}	0,54 ^{**}	0,66 ^{**}	-0,55 ^{**}	0,70 ^{**}	0,45 ^{**}	0,68 ^{**}	0,51 ^{**}	0,44 ^{**}
Manga	0,48 ^{**}	0,68 ^{**}	0,85 ^{**}	-0,37 [*]	0,88 ^{**}	0,35 [*]	0,88 ^{**}	0,85 ^{**}	0,59 ^{**}

¹Correlações para cada área amostrada considerando a camada de 0-0,6 m (n = 40); ²valores de correlação seguidos de ** = significância de p < 0,01; * = significância de p < 0,05 e ^{ns} = não significativo.

Atributos físicos

A distribuição granulométrica do solo, nas duas áreas estudadas, é apresentada na Tabela 3. Neste caso, das camadas superficiais, não foram avaliadas as camadas 0-0,10 m e 0,10-0,20 m, mas sim a camada 0-0,20 m. Verifica-se que os teores de argila variam de 44 g kg⁻¹ a 60 g kg⁻¹ e de 40 g kg⁻¹ a 53 g kg⁻¹, silte de 20 g kg⁻¹ a 40 g kg⁻¹ e de 35 g kg⁻¹ a 52 g kg⁻¹, areia de 900 g kg⁻¹ a 936 g kg⁻¹ e de 900 g kg⁻¹ a 922 g kg⁻¹ nas áreas de caatinga e mangueira, respectivamente. Essa distribuição granulométrica é característica dos Neossolos Quartzarênicos, com textura arenosa desde a superfície até as camadas mais profundas (CUNHA et al., 2008). Verifica-se que o tipo de uso do solo não influenciou essa variável (Tabela 3).

Segundo Amaral et al. (2011), a predominância significativa de partículas de areia na composição granulométrica em todo o perfil desse solo lhe confere maior drenabilidade, altas taxas de infiltração e, conseqüente rápida drenagem, o que reduz riscos de salinização e os torna atrativos ao uso com fruticultura em sistemas de irrigação localizada e com uso de fertirrigação.

Tabela 3. Distribuição granulométrica do solo para as diferentes camadas em área de vegetação de Caatinga e Mangueira, em Petrolina, PE.

Área	Camada	Granulometria		
		Argila	Silte	Areia
	mg kg ⁻¹		
Caatinga	0 - 0,20	44	20	936
	0,20 - 0,40	46	22	932
	0,40 - 0,60	48	29	923
	1,00 - 1,20	58	31	911
	1,60 - 1,80	60	40	900
Mangueira	0 - 0,20	40	38	922
	0,20 - 0,40	42	35	923
	0,40 - 0,60	42	43	915
	1,00 - 1,20	53	45	902
	1,60 - 1,80	53	52	900

* Valores médios (n = 10).

Verifica-se que o teor de água na capacidade de campo (Θ_{cc}) não diferiu entre os dois tipos de uso do solo avaliados, embora tenha apresentado maior valor numérico na área de mangueira (Tabela 4). Esta ausência de diferença significativa pode ser atribuída ao alto coeficiente de variação encontrado para esta variável, independentemente da camada de solo avaliada. O valor maior de Θ_{cc} na área de mangueira pode ser devido ao acréscimo de microporos e de CO na camada 0-0,10 m, que favorecem a maior retenção de água. Por outro lado, o teor de água no ponto de murcha permanente (Θ_{pmp}) foi maior na área de mangueira do que na caatinga, nas duas camadas de solo avaliadas ($p < 0,05$), (Tabela 4). Isto pode ser um indicativo de que o manejo do solo adotado na mangueira irrigada está contribuindo para aumentar a retenção de água com maior energia no solo, possivelmente em função de maior aporte de matéria orgânica e possível incremento de microagregados, conforme mencionado por Mamede et al. (2014), que verificaram maior efetividade na formação e estabilização de agregados em área de mangueira irrigada do que na caatinga, na camada de 0-0,10 m do Neossolo Quartzarênico, em condições semelhantes deste estudo. Observou-se uma relação linear e positiva entre os teores de CO do solo e a Θ_{cc} e com a água disponível (AD), tanto na área de mangueira quanto na área de caatinga, na camada de 0-0,10 m (Figura 7).

Tabela 4. Valores médios (n = 10) de teor de água na capacidade de campo (Θ_{cc}), ponto de murcha permanente (Θ_{pmp}), volume total de poros (VTP), macroporos (Ma), microporos (Mi) e densidade do solo (Ds) e de partícula (Dp), para diferentes camadas do solo em área de Caatinga e mangueira irrigada, em Petrolina, PE.

Uso do Solo	Θ_{cc} 0,01 MPa	Θ_{pmp} 1,5 MPa	AD	VTP	Ma	Mi	Ds	Dp
%.....		%%.....		g cm ⁻³	
0 - 0,10 m								
Caatinga	5,3a	0,96b	4,3a	43a	28a	15b	1,50a	2,63a
Manga	7,5a	1,74a	5,8a	45a	17b	28a	1,47a	2,66a
DMS	4,4	0,26	4,2	2,2	5,5	4,3	0,07	0,08
CV (%)	68	19	83	5,0	25	20	4,4	4,2
0,10 - 0,20 m								
Caatinga	6,50a	0,95b	5,5a	41a	26 a	15b	1,55a	2,66a
Manga	5,40a	1,43a	4,0a	42a	17 b	25a	1,56a	2,70a
DMS	4,3	0,17	4,2	3,3	4,8	4,5	0,06	0,05
CV (%)	72	14	88	7,8	22	23	4,1	5,1

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna entre os tratamentos, em cada profundidade para cada uma das variáveis, não diferem entre si pelo teste t p < 0,05.

DMS= diferença mínima significativa;

CV= coeficiente de variação.

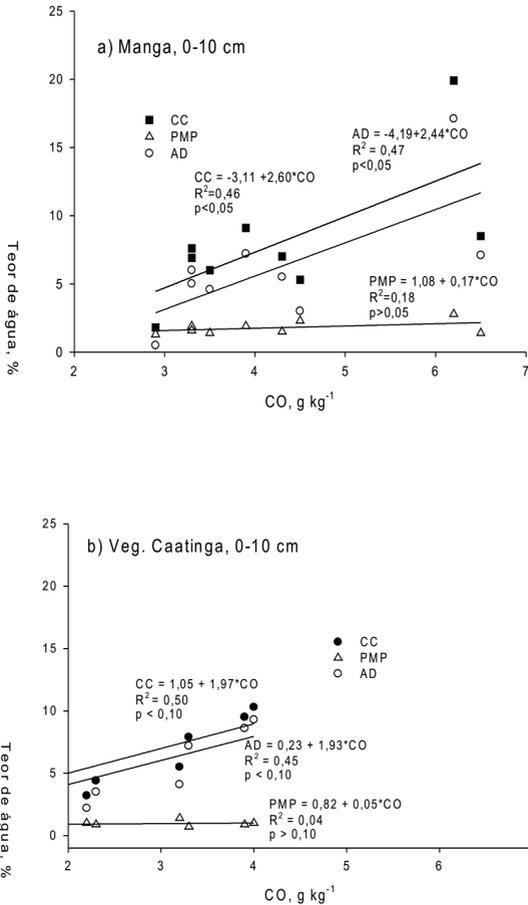


Figura 7. Relação entre carbono orgânico (CO) e as constantes hídricas (CC: capacidade de campo, PMP: ponto de murcha permanente, AD: água disponível), na camada superficial do solo, nas áreas de mangueira irrigada (a) e vegetação de caatinga (b), em Petrolina, PE.

Este resultado demonstra a importância do teor de CO no solo para retenção e disponibilidade de água para as plantas nas condições edafoclimáticas do estudo. Portanto, as ações de manejo do solo devem ser direcionadas para os sistemas que busquem incrementar os teores de CO no solo, e, ainda, quando possível, não só na camada superficial, mas também em profundidade, por meio do uso de plantas de cobertura e adubação verde na entrelinha da cultura da mangueira.

O volume total de poros (VTP) foi de 43% e 45% e de 41% e 42% nas camadas de 0-0,10 m e de 0,10-0,20 m nas áreas caatinga e mangueira, respectivamente (Tabela 4). Estes resultados são condizentes aos encontrados para solos de textura arenosa com arranjo de partículas sólidas em íntimo contato, predominando sólidos na amostra de solo, e, assim, tendem a ser menos porosos e de maior densidade do que os solos argilosos, que apresentam partículas arranjadas em forma de agregados, com predominância de vazios na amostra de solo (HILLEL, 1999; RIBEIRO et al., 2007). O volume de poros totais (VTP) não foi afetado pelo uso do solo com fruticultura irrigada com mangueira por longo prazo, em relação à área de vegetação com caatinga, embora, em média, os valores tenham sido ligeiramente superiores na área cultivada, nas duas camadas de solo avaliadas (Tabela 4). No entanto, ao avaliar o volume de macroporos, verifica-se que os valores variaram de 26% a 28%, com maior valor na camada de 0-0,10 m na área de caatinga, e permaneceu constante em 17% na área de mangueira, tendo sido superior na área de caatinga ($p < 0,05$) para as duas camadas estudadas (Tabela 4). Este resultado indica que houve modificação do arranjo poroso do solo, demonstrando que o uso do solo com mangueira irrigada reduziu em aproximadamente 10% o volume de macroporos, em relação à área de caatinga, fato que pode ser atribuído ao tráfego de máquinas nas áreas de cultivo. Embora isto tenha ocorrido, constata-se que as duas áreas estudadas apresentaram em média volume de macroporos maior do que 10%, o que é considerado adequado para permitir a drenagem rápida da água gravitacional, as trocas gasosas, e o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular das plantas (DEXTER, 1988; REYNOLDS et al., 2002).

A modificação no arranjo poroso do solo se refletiu igualmente no volume de microporos, porém no sentido contrário, observando-se valores de 15% e 28% na camada de 0-0,10 m e de 15% e 25%, na camada de 0,10-0,20 m, para as áreas de caatinga e mangueira, respectivamente (Tabela 4).

O volume de microporos embora tenha apresentado uma relação de aproximadamente 2/3 com a porosidade total do solo, e superado em 47% e 40% o valor encontrado para área de Caatinga (Tabela 4) pode

ser considerado de muito baixa capacidade de retenção de água no solo, cerca de 50 mm m^{-1} . Esse baixo valor na capacidade de armazenamento de água decorre dos valores muito baixos das frações granulométricas finas e da matéria orgânica no solo.

Os valores de densidade do solo (D_s) variaram de $1,47 \text{ g cm}^{-3}$ a $1,56 \text{ g cm}^{-3}$, com menores valores na camada de 0-0,10 m. Não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$) entre as duas áreas, dentro de cada uma das camadas estudadas (Tabela 4). Os valores de D_s encontrados situam-se dentro da faixa de limites médios para solos arenosos ($1,2 \text{ g cm}^{-3}$ a $1,6 \text{ g cm}^{-3}$), conforme consta em Reichardt (1990). O coeficiente de variação para a D_s pode ser considerado baixo, nas duas camadas de solo avaliadas. Constata-se que a D_s apresenta relação linear negativa com a porosidade total e com o volume de macroporos, na camada de 0-0,10 m do solo, e linear positiva com a microporosidade, tanto na área de caatinga quanto na área de mangueira (Figura 8).

Este tipo de relação pode ser considerado normal, uma vez que com o aumento da D_s a porosidade total é reduzida, com maior efeito sobre o volume de macroporos do que sobre o volume de microporos (KLEIN, 2008). Observa-se, na área de mangueira, que com D_s acima de $1,60 \text{ g cm}^{-3}$ pode haver restrição de aeração às plantas devido ao volume de macroporos ser menor que 10% ($0,10 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), Figura 8a.

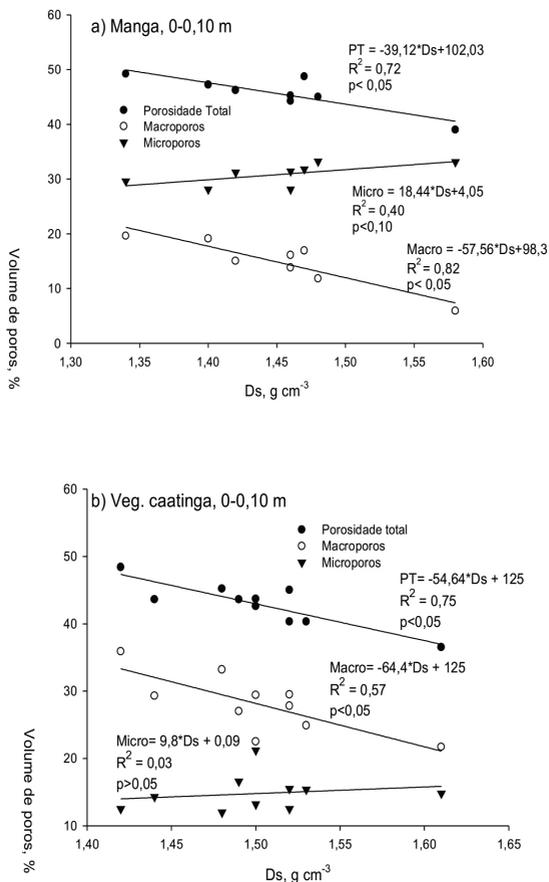


Figura 8. Relação entre densidade global do solo (Ds) com o volume de poros, na camada superficial do solo, nas áreas de Manga irrigada (a) e vegetação de Caatinga (b), em Petrolina, PE.

Isto indica que mesmo em um solo arenoso, quando as tensões aplicadas superarem a sua capacidade de suporte poderá haver compactação excessiva. Este risco aumenta conforme o grau e a intensidade de mobilização do solo, ocasionadas pelas operações mecanizadas de preparo primário e secundário com uso de aração e gradagem, principalmente, para culturas anuais ou bi-anuais. Dessa forma, estudos relacionados ao manejo conservacionista devem ser enfatizados, especialmente em

áreas de solos frágeis do semiárido. Sistemas de produção de mangueira em Neossolo Quartzarênico devem visar a manter a superfície do solo protegida com cobertura vegetal (viva ou morta), minimizar o revolvimento do solo, incrementar os teores de carbono orgânico no solo, não só na superfície, mas também, quando possível, em subsuperfície por meio do uso de plantas de cobertura englobando espécies de gramíneas e leguminosas, adequadas ao clima semiárido.

Conclusões

1. O padrão de manejo influenciou os atributos físicos e químicos do solo em relação à área com vegetação de caatinga;
2. A adubação com potássio e fósforo, em sistemas irrigados de produção de mangueira, incrementa a translocação desses nutrientes para camadas mais profundas do Neossolo Quartzarênico;
3. O cultivo de mangueira irrigada após 20 anos promoveu redução do volume de macroporos na camada de 0,0-0,10 m do solo. No entanto, não foi suficiente para indicar um grau acentuado de compactação;
4. Os atributos químicos e físicos do solo em geral se correlacionaram de forma linear e positiva com os teores de carbono orgânico. Isso demonstra a importância de estratégias de manejo que visem o incremento de matéria orgânica do solo, em clima semiárido.

Agradecimentos

Aos proprietários da Fazenda Boa Esperança, Petrolina-PE, pelo acesso e facilidades concedidas para realização da amostragem de solo. Ao CNPq e à Embrapa pelos recursos financeiros fornecidos para execução dos trabalhos.

Referências

- ALBUQUERQUE, J. A.; ALMEIDA, J. A.; GATIBONI, L. C.; ELTZ, F. L. F. Atividades agrícolas de produção em solos frágeis no sul do Brasil. p. 368-403. In: **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. v. 7, 2011. 403 p.
- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDEZ, S. B.; BAYER, C. Culturas de cobertura, acúmulo de Nitrogênio total no solo e produtividade do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, p. 679-686, 1999.
- AMARAL, F. C. S. do; MELO, A. da S.; LEITE, A. P.; BARROS, A. H. C.; RAMALHO FILHO, A.; PÉREZ, D. V.; ANDRADE, D. O. de; SILVA, E. F. da; BOTELHO, F. P.; SILVA, F. H. B. B. da; BACA, J. F. M.; SANTOS, J. C. P. dos; ARAÚJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA NETO, M. B. de; SOUZA NETO, N. C.; PARAYBA, R. da B. V.; BEHRING, S. B.; TAVARES S. R. de L.; COSTA, T. C. e C. da. **Sistema brasileiro de classificação de terras para irrigação**: enfoque na região semiárida. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2011. 164 p.
- BAYER, C.; MIELNICZUCK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. p. 7-16. In: SANTOS, G. de A. (Ed.). **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo**: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, RS: Metrópole, 2008. 636 p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 4. ed. São Paulo, SP: Ícone, 1999. 355 p.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soil**. 14 th ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2008. 990 p.
- BRASIL. Ministério do Interior. **Mapa Geológico**. Recife, PE: SUDENE, 1974. 1 mapa. Escala 1:25.000.000.
- BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, Amsterdam, v. 124, p. 3-22, 2005.
- CUNHA, T. J. F.; GIONGO, V.; SILVA, D. J.; MENDES, A. M. S.; MELO, R. F. de; OLIVEIRA NETO, M. B. de; SILVA, M. S. L. da; ALVAREZ, I. A. Principais solos do semiárido tropical brasileiro: caracterização, potencialidades, limitações, fertilidade e manejo. In: SÁ, I. B.; SILVA, P. C. G. (Ed.). **Semiárido brasileiro**: pesquisa, desenvolvimento e inovação. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, 2010. p. 49-87. 38 p.

CUNHA, T. J. F.; SILVA, F. H. B. B. da; SILVA, M. S. L. da; PETRERE, V. G.; SÁ, I. B.; OLIVEIRA NETO, M. B. de; CAVALCANTI, A. C. **Solos do submédio do vale do São Francisco**: potencialidades e limitações para o uso agrícola. Petrolina, PE: Embrapa Semi-Árido, 2008. 60 p. (Embrapa Semi-Árido. Documentos, 211).

DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 11, n. 3, p. 199-238, 1988.

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

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa Produção de Informações; Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2013. 353 p.

FARIA, C. M. B. de; SILVA, M. S. L. da; SILVA, D. J. **Alterações em características de solos do Submédio São Francisco sob diferentes sistemas de cultivo**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007. 36 p. (Embrapa Semi-Árido. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 74).

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. San Diego: Academic Press, 1999. 771 p.

JACOMINE, P. K. T. Solos sob caatinga: características e uso agrícola. In: ALVAREZ, V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, MG: SBCS; UFV, 1996. p. 95-133.

JENNY, H. Factors of soil formation: a system of quantitative pedology. New York, **Dover Publications**, 1941. 281 p.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, J. W.; DORAN, R. G.; CLINE, R. F.; HARRIS, G. E. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. **Soil Science of American Journal**. Madison, WI, v. 61, p. 4-10, 1997.

KER, J. C., CURTI, N.; SCHAEFFER, C.E.G.R.; VIDAL-TORRADO, P. ed. **Pedologia**: fundamentos. Viçosa, MG: SBCS, 2012, 343 p.

KLEIN, V. A. **Física do solo**. Passo Fundo, RS: Universidade de Passo Fundo, 2008. 212 p.

KUYKENDALL, H. Soil quality physical indicators: selecting dynamic soil properties to assess soil function. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. **Soil Quality Tech.**, Washington, DC, v. 10. September 2008.

LAL, R.; BLUM, W. H.; VALENTINE, C.; STEWART, B. A. (Ed.). **Methods for assessment of soil degradation**. Boca Raton, FL: CRC Press, 1997. 558 p.

LAL, R. Tillage effects on soil degradation, soil resilience, soil quality, and sustainability. **Soil and Tillage Research**, Netherlands, v. 27, p. 1-8, 1993.

LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. p.37-51. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for sustainable environment**. Madison: SSSA, 1994.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos**. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2002. 178 p.

MAMEDE, L.S.; ALMEIDA, A. C. D.; SANTOS, P. M.; PINTO, L. B. C.; HERNANI, L. C.; AMARAL A. J.; MELO, A. S. Agregação de Neossolo Quartzarênico em cultivo de manga irrigada. In.: Reunião Nordestina de Ciência do Solo, II., 2014, Ilhéus, BA. **Anais...** Ilhéus: SBSC; UESC, UFRB, 2014.

MARIN, A. M. P.; MENEZES, R. S. C.; SILVA, E. D.; SAMPAIO, E. V. de S. B. Efeito da *Gliricidia sepium* sobre nutrientes do solo, microclima e produtividade do milho em sistema agroflorestal no agreste paraibano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, p. 555-564, 2006.

MENDONÇA, E. S.; FERNANDES, R. B. A. Manejo e conservação do solo no contexto dos serviços ambientais. In: **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**. PRADO, R. B.; TURETA, A. P.; ANDRADE, A. G. (Org.). Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2010. 486 p.

QUEIROZ, J. E.; GONÇALVES, A. C. A.; SOUTO, J. S.; FOLEGATTI, M. V. Avaliação e monitoramento da salinidade do solo. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. da S.; LACERDA, C. F. de. (Ed.). **Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza, CE: INCTSal, 2010. 472 p.

REICHARDT, K. **Água em sistemas agrícolas**. São Paulo, SP: Manole, 1990, 188 p.

REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, Amsterdam, v. 110, p. 131-146, 2002.

RIBEIRO, T. P.; LIMA, M. A. C. de; TRINDADE, D. C. G. da; SANTOS, A. C. N. dos; AMARIZ, A. Uso de revestimentos à base de dextrina na conservação pós-colheita de manga 'Tommy Atkins'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal v. 31, n. 2, p. 343-351, 2009.

RIBEIRO, K. D.; MENEZES, S. M.; MESQUITA, M. da G. B. de F.; SAMPAIO, F. de M. T. Propriedades físicas do solo influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solo da região de Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 31, n. 4, p. 1167-1175, 2007.

SCHJONNING, P.; ELMHOLT, S.; CHRISTENSEN, B. T. (Ed.). **Managing soil quality: challenges in modern Agriculture**. CABI Publishing, Wallingford, UK, 2004, 368 p.

SILVA, D. J.; ARAÚJO, C. A. S. Agricultura irrigada: a importância da adubação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Anais...** Recife: SBSC; Embrapa Solos - UEP Recife; UFRPE, 2005. CD-ROM.

SILVA, J. P. S.; NASCIMENTO, C. W. A.; BIONDI, C. M.; CUNHA, K. P. V. Heavy metals in soils and plants in mango orchards in Petrolina, Pernambuco, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 36, p. 1343-1353, 2012.

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. de C.; SCOPEL, E.; COSTA JÚNIOR, C. da; CERRI, C. C.; MARTIAL, B. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, PR, v. 31, n. 4, 2009, p. 709-717.

SUDENE. **Recursos naturais do Nordeste**: investigação e potencial (sumário das atividades). Recife, 1985. 183 p.

VEZZANI, F. M.; CONCEIÇÃO, P. C.; MELLO, N. A.; DIECKOW, J. Matéria orgânica e qualidade do solo. In: SANTOS, G. A. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2 ed. rev. e atual. Porto Alegre, RS: Metropole, 2008. 654 p.