



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Solos
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1678-0892

Dezembro, 2004

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 52

Fertilidade do Solo e Estoques de Carbono e Nitrogênio de um Neossolo Quartzarênico sob Cultivo de Fruteiras Irrigadas na Região Nordeste do Brasil

Alberto Carlos de Campos Bernardi
Sílvio Roberto de Lucena Tavares
Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado
Beáta Eموke Madari
Lindbergue Araújo Crisóstomo
Davi Vilas-Boas Campos

Rio de Janeiro, RJ
2004

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Solos

Rua Jardim Botânico, 1.024 Jardim Botânico. Rio de Janeiro, RJ

Fone:(21) 2274.4999

Fax: (21) 2274.5291

Home page: www.cnps.embrapa.br

E-mail (sac): sac@cnps.embrapa.br

Supervisor editorial: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Normalização bibliográfica: *Cláudia Regina Delaia*

Revisão de texto: *André Luiz da Silva Lopes*

Editoração eletrônica: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

1ª edição

Todos os direitos reservados.

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

Fertilidade do solos e estoques de carbono e nitrogênio de um Neossolo Quartzarênico sob cultivo de fruteiras irrigadas na região Nordeste do Brasil / Alberto Carlos de Campos Bernardi... [et al]. - Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2004.

36 p. - (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento; n. 52)

ISSN 1678-0892

1. Solo - fertilidade - Avaliação. 2. Seqüestro de carbono - cultivo de fruteiras irrigadas - efeito. I. Bernardi, Alberto Carlos de Campos. II. Tavares, Sílvio Roberto de Lucena. III. Machado, Pedro Luiz Oliveira de Almeida. IV. Madari, Beáta Eموke. V. Crisóstomo, Lindbergue Araújo. VI. Campos, Davi Vilas-Boas. VII. Embrapa Solos (Rio de Janeiro, RJ). VIII. Série.

CDD (21. ed.) 631.4

© Embrapa 2004

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução	8
Material e Métodos	12
Resultados e Discussão	15
Fertilidade do Solo	15
Matéria orgânica do solo	21
Densidade do solo	25
Estoques de Carbono e Nitrogênio	25
Índice de degradação do solo	29
Considerações finais	30
Conclusões	30
Agradecimentos	31
Referências Bibliográficas	31

Fertilidade do Solo e Estoques de Carbono e Nitrogênio de um Neossolo Quartzarênico sob Cultivo de Fruteiras Irrigadas na Região Nordeste do Brasil

Alberto Carlos de Campos Bernardi¹

Sílvio Roberto de Lucena Tavares²

Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado²

Beáta Emočke Madar²

Lindbergue Araújo Crisóstomo³

Davi Vilas-Boas Campos⁴

Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do cultivo de fruteiras irrigadas na fertilidade e nos estoques de C e N de um Neossolo Quartzarênico em Paraipaba, CE. Foram coletadas amostras na linha e na entrelinha de pomares irrigados de banana, caju, manga, sapoti, goiaba e graviola. Em áreas adjacentes sob vegetação de Caatinga hipoxerófila e após 2 anos de desmatamento foram coletadas amostras adicionais. As profundidades de amostragem foram: 0 a 10, 10 a 20 ; 20 a 40 e 40 a 60 cm. Foi determinada a densidade do solo em todas as profundidades. Determinou-se C, N, pH, P, K, Ca, Mg, Na, Al, acidez potencial e condutividade elétrica e calculou-se a soma de bases, capacidade de troca de cátions, saturação por bases e os estoques de C e N. Os resultados indicaram que, nas condições de solo e manejo das áreas estudadas, o cultivo das fruteiras proporcionou melhoria na fertilidade do solo. A irrigação proporcionou uma distribuição mais profunda de nutrientes. Houve aumento nos valores de pH, P, K, Ca, Mg, V% e Na, e diminuição nos teores de matéria orgânica, Al e acidez potencial. Os teores de C e N no solo foram significativamente mais altos na camada superficial (0 a 10 cm). A densidade do solo não foi significativamente influenciada pela profundidade de

¹ Embrapa Pecuária Sudeste, Rod. Washington Luiz km 234, Cx. Postal 339, CEP 13560-970 - São Carlos - SP. alberto@cppse.embrapa.br

² Embrapa Solos, R. Jardim Botânico, 1024, CEP: 22460-000, Rio de Janeiro - RJ. stavares@cnps.embrapa.br, pedro@cnps.embrapa.br, beata@cnps.embrapa.br

³ Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza - CE, Brasil. lindberg@cnpat.embrapa.br

⁴ Embrapa Solos, Rio de Janeiro - RJ, Brasil. Bolsista do CNPq.

amostragem. A capacidade de troca de cátions aumentou em função dos aumentos do carbono orgânico do solo. O estoque de C e N na área com vegetação de Caatinga foram 36,8 e 3,33 t ha⁻¹. A retirada da vegetação e o cultivo das espécies frutíferas levaram a diminuições no estoque de C (6-23%) e de N (3-20%). O cultivo do sapoti (*Manilkara zapota*) aumentou em 13% os estoques de carbono e nitrogênio do solo.

Termos de Indexação: seqüestro de carbono, nitrogênio, banana (*Musa ssp.*), caju (*Anacardium occidentale*), goiaba (*Psidium guajava*), graviola (*Annona reticulata*), manga (*Mangifera indica*), sapoti (*Manilkara zapota*).

Soil Fertility and Carbon and Nitrogen Stocks of an Inceptisol Under Irrigated Fruit Orchards in Northeastern Brazil

Abstract

The objective of this work was to evaluate the effects of irrigated fruits growth on soil fertility and C and N stocks of a Neossolo Quartzarênico (Arenosol/ Quartzpsament) from Paraipaba-CE, Northeastern Brazil. Soil samples were taken from irrigated orchards of banana, cashew, guava, bullock's heart, mango, and sapote in the wet bulb and at the non irrigated area between the plant row. Additional samples were collected from adjacent areas under secondary dry forest, and under 2-year deforested area. Sampling depths were: 0-10, 10-20, 20-40, and 40-60 cm. Determinations made were: C, N, pH, organic matter, P, K, Ca, Mg, Na, Al, potential acidity, and electrical conductivity, and then sum of basis, cation exchange capability, base saturation (V%), and C and N stocks were calculated. The results showed that in the soil studied, irrigated fruit cultivation improved soil fertility. Irrigation led to a deeper distribution of nutrients. There were increases in pH, P, K, Ca, Mg, V% and Na values, and decrease in organic matter, Al and potential acidity levels. Soil C and N levels were significantly higher in the surface layer (0-10 cm). The soil bulk density was not significantly affected by the sampling depth. Cation exchange capacity increases as function of the increase on SOC. Soil C and N stocks under secondary forest at 0-60 cm depth were 36.8 and 3.3 Mg ha⁻¹, respectively. Forest clearing and fruit orchard cultivation led to a decrease on soil C (6-23%, respectively) and N (3-20%, respectively) stocks. Sapote (*Manilkara zapota*) cultivation increased 13% soil carbon and nitrogen stocks.

Index terms: carbon sequestration, nitrogen, banana (*Musa* ssp.), cashew (*Anacardium occidentale*), guava (*Psidium guajava*), bullock's heart (*Annona reticulata*), mango (*Mangifera indica*), sapote (*Manilkara zapota*).

Introdução

Entre as características climáticas do semi-árido do Nordeste brasileiro, destacam-se a baixa precipitação média anual e a alta insolação, e, como consequência, a alta evaporação que ocasiona grandes perdas hídricas. No entanto, a irrigação permite diminuir a irregularidade espacial e temporal do suprimento de água, possibilitando a expansão das áreas de cultivos nesta região. Com a finalidade de irrigar e, sobretudo, na tentativa de regularizar o abastecimento de água para a população, o Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS) construiu vários reservatórios, muitos dos quais passaram a constituir perímetros irrigados (Paiva, 1976; Pinheiro & Shirota, 2000).

As características climáticas, associadas ao surgimento dos perímetros irrigados, favoreceram o desenvolvimento da fruticultura irrigada na região do semi-árido nordestino. A região é a responsável pela maior parte da produção das principais frutas tropicais, sendo a primeira produtora de caju, melão, coco, cajá, acerola, graviola, mamão, manga, maracujá, melancia e banana (Cardoso & Souza, 2000).

O Estado do Ceará tem extensa faixa de solos areno quartzosos, com baixo poder de retenção de água, que impedem a formação de reservas de água nos períodos mais secos (Brasil, 1973), agravando ainda mais o problema do déficit hídrico. A partir da década de 90, o Estado identificou vantagens competitivas importantes na fruticultura irrigada, as quais são a localização dos centros produtores, que não distam mais de 250 quilômetros da capital, e, também, a sua posição em relação aos maiores mercados consumidores da Europa e dos Estados Unidos. Além disso, o semi-árido nordestino permite até 2,5 safras por ano. Estas vantagens têm impulsionado a fruticultura, tornando-a uma importante atividade para a economia cearense.

A escolha de áreas para compor perímetros irrigados nem sempre foi feita com base em critérios técnicos e econômicos. Este fato, associado à falta de informações aos agricultores no manejo da irrigação e às peculiaridades edafoclimáticas do Nordeste brasileiro, muito tem contribuído para o processo de degradação de solos da região. Devido manejo inadequado, muitas dessas áreas encontram-se praticamente abandonadas, em virtude de problemas de salinidade/sodicidade em seus solos (Macedo, 1988; Oliveira *et al.*, 2002).

O solo é um recurso natural essencial que proporciona várias importantes funções nos ecossistemas, como: a) meio para o crescimento das plantas, b) regulação e partição do fluxo de água no ambiente, e c) “tampão ambiental” na formação, atenuação, e degradação de compostos naturais e xenobióticos (Larson & Pierce, 1991). Opções de manejo que causem declínio na qualidade do solo reduzem estas “habilidades” funcionais. Devido à resiliência da natureza, técnicas de manejo do solo apropriadas podem recuperar as funções de um ecossistema degradado. Além desse, o conceito de qualidade do solo, outro baseado na definição da *Soil Science Society of America*, seria a capacidade de um tipo específico de solo funcionar, dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade vegetal e animal, manter e melhorar a qualidade da água e do ar, e manter a saúde e habitação humana. O conhecimento da qualidade do solo é imprescindível à definição de estratégias para o manejo sustentável e na identificação de indicadores críticos (Sans, 2000). Dentro do conceito de qualidade do solo, a matéria orgânica do solo tem sido reconhecida como um importante atributo que interfere diretamente sobre diversas outras funções chave (Doran & Parkin, 1994).

A estratificação da matéria orgânica do solo – MOS nas diferentes camadas do solo é comum em vários ecossistemas naturais e agrícolas. A superfície do solo, que contém os maiores teores de MOS, exerce uma interface vital pois recebe a maior parte dos fertilizantes e defensivos aplicados, os impactos da chuva, e faz a partição dos fluxos de gases para dentro ou fora do solo. Franzluebbbers (2002) propôs que a diminuição da estratificação pode ser utilizada como um indicador da qualidade do solo, uma vez que esta MOS superficial é essencial para controle da erosão, infiltração de água, e conservação de nutrientes.

Nas regiões semi-áridas, a melhoria da fertilidade do solo é essencial para aumentar a produtividade de biomassa, aumentar a eficiência do uso da água e também melhorar a qualidade do solo. Vários experimentos de longa duração em regiões com baixa precipitação mostraram a importância do uso de fertilizantes orgânicos e inorgânicos, visando o adequado manejo de nutrientes (Fuller, 1991; Singh & Goma, 1995; Pieri, 1995; Miglierina *et al.*, 1996; Laryea *et al.*, 1995).

No entanto, são escassas as avaliações gerais da fertilidade dos solos da região Nordeste do Brasil. Sampaio *et al.* (1995) publicaram extensa revisão sobre o assunto. Apesar da água ser o principal fator limitante à produção vegetal na região, os solos apresentam ainda baixa fertilidade com grandes extensões com

baixos teores de P, K e com altas necessidades por calcário. Porém, os fertilizantes são pouco utilizados, e quando utilizados as doses são mais baixas que o necessário, talvez por existirem poucos trabalhos sobre resposta à adubação para a região (Faria, 1992). Salcedo *et al.* (1997) afirmam que há resposta à fertilização com N e P na maioria dos experimentos realizados na região, no entanto não tem sido relatadas respostas ao K e à calagem.

Geralmente, a substituição da vegetação natural por culturas comerciais provoca alterações nas propriedades químicas dos solos, que são influenciadas pelo tipo de solo, fertilidade inicial, cultura implantada e o manejo utilizado. Borges & Kiehl (1997) observaram em um Latossolo amarelo álico na Bahia, que os cultivos de banana e citros elevaram os teores de Ca, Mg, P e Zn do solo, principalmente nos horizontes superficiais. Já os cultivos de manga e, principalmente de mandioca, não contribuíram para melhoria das propriedades químicas.

A matéria orgânica do solo (MOS) tem muitas funções, cuja importância difere em função do tipo de solo, clima e uso da terra. A mais importante função da MOS é como reserva de nitrogênio e de outros nutrientes. Outras funções importantes incluem a formação de agregados estáveis e a proteção da superfície do solo, manutenção da atividade microbiana, incluindo a mobilização e disponibilidade de nutrientes, manutenção da capacidade de troca de íons, e armazenamento do carbono (Craswell & Lefroy, 2001; Robert, 2001).

O carbono é retirado da atmosfera e adicionado ao solo pelas plantas durante o processo fotossintético para a formação dos compostos orgânicos fotossintetizados. O carbono destes compostos é adicionado ao sistema de matéria orgânica do solo como o lúteo, restos de raízes e exsudados, ou se for consumido pelos animais como excretas. Estes processos todos ocorrem próximos da superfície do solo, e por este motivo o carbono acumulado pode ser facilmente perdido pelo processo erosivo ou pelo aumento da intensidade do cultivo. No entanto, parte deste C e elementos essenciais tornam-se fonte de nutrientes para a flora e fauna do solo (Follett, 2001; Robert, 2001). Os solos representam um importante componente no ciclo biogeoquímico do carbono, armazenando cerca de quatro vezes mais C que a biomassa vegetal e aproximadamente três vezes mais que a atmosfera (IPCC- *Intergovernmental Panel Climate Change*, 2001). Os solos podem funcionar como fonte ou dreno de carbono para a atmosfera, dependendo das condições naturais e, sobretudo, do tipo de manejo adotado.

A exploração agrícola geralmente promove um aumento na taxa de oxidação da matéria orgânica do solo (MOS), favorecendo as emissões de CO₂. Em solos de clima temperado, metade do conteúdo inicial de C do solo é perdido em um intervalo de 50 a 100 anos de cultivo, sendo que em ambientes tropicais as perdas podem ser ainda maiores (Feller & Beare, 1997). Por outro lado, existem evidências de que práticas conservacionistas, como determinadas técnicas de plantio direto, pastagens bem manejadas, florestas plantadas e sistemas agroflorestais, podem reduzir drasticamente estas perdas, mantendo-se os níveis de matéria orgânica do solos (MOS) ou até mesmo aumentando-os (Carter, 2001).

O seqüestro do C é benéfico pois aumenta a produtividade do solo e reduz a concentração atmosférica de C. O ganho com produtividade é um processo lento e a obtenção de níveis estáveis no solo demora alguns anos para ser obtida. A maioria das práticas agrícolas não provoca elevações significativas dos níveis de carbono em pouco tempo, sendo necessário pelo menos entre 25 a 50 anos antes que um novo equilíbrio seja atingido (Batjes, 2001). Entretanto, a escala de tempo dos mecanismos de resposta de mudanças nos níveis de MOS e o equilíbrio para tipos específicos de solo, clima e uso da terra não são bem conhecidos apesar de sua importância para previsão da qualidade do solo e sua degradação, produtividade a longo prazo e o potencial para liberação de gases que provocam o efeito estufa.

As informações disponíveis sobre o papel dos solos brasileiros no ciclo biogeoquímico do carbono são ainda escassas, especialmente para os solos da região do semiárido. Isso dificulta a realização de estimativas do estoque de carbono, bem como a simulação do impacto de sistemas de manejo conservacionistas.

A maioria dos relatos sobre estoques de carbono e nitrogênio em solos agrícolas brasileiros foram baseados em sistemas de cultivo de culturas anuais para produção de grãos em condições de alta precipitação pluvial (Freixo *et al.*, 2002; Machado & Silva, 2001; Sisti *et al.*, 2004).

Tiessen *et al.* (1998) apresentou o estoque total de carbono de um Latossolo sob vegetação natural na região Nordeste do Brasil como sendo próximo de 20 Mg ha⁻¹, na camada superficial. Um Argissolo, na mesma região apresentou aproximadamente 28 Mg ha⁻¹, entre 0 - 20 cm (Kauffman *et al.*, 1993). Borges & Kiehl (1996) observaram em um Latossolo amarelo álico na Bahia, que o estoque total de carbono

(100 t ha⁻¹) sob vegetação natural até 100 cm de profundidade, foi reduzido em torno de 20% com os cultivos de banana, manga e mandioca. O cultivo de citros resultou numa menor redução do estoque, em torno de 10%.

Entretanto, ainda é pouco conhecido o potencial de seqüestro de C por solos arenosos sob cultivo de culturas perenes irrigadas em regiões semi-áridas. O cultivo de pomares de fruteiras irrigadas tem sido considerado como uma alternativa viável ao sistema de cultivo de derrubada nestas áreas secas. Resultados de pesquisa sobre seqüestro de COS sob áreas irrigadas são escassos e são necessárias mais informações. O fornecimento de água é um importante fator de aumento da produtividade da biomassa. Lal *et al.* (1998) estimaram que a irrigação resultou em taxas de seqüestro de COS entre 50 a 150 kg ha⁻¹ por ano.

O artigo 3.4 do Protocolo de Kyoto estabeleceu que os solos agrícolas poderiam funcionar como um destino para o carbono seqüestrado (IPCC; 2000). As atividades de manejo de florestas e culturas, pastagens e reflorestamento estão incluídas neste artigo como seqüestradoras de C. Outros destinos podem, entretanto, ser incluídos nestas atividades. E a chave para implementação do Protocolo de Kyoto é a demonstração e verificação das mudanças nos estoques e fluxos de C. Smith (2004) sugeriu que em alguns casos, o custo associado com a demonstração do seqüestro de carbono pode ser maior que o valor do carbono seqüestrado.

O uso de tecnologias adequadas na agricultura têm um grande potencial para aumentar as quantidades de carbono seqüestrado nos solos cultivados. As mudanças da cobertura vegetal associadas ao uso inadequado das terras são importantes formas de alterações ambientais e degradação da região semi-árida.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do cultivo de pomares irrigados de fruteiras sobre a fertilidade do solo e os estoques de carbono e de nitrogênio de um Neossolo Quartzarênico de Paraipaba-CE, Brasil.

Material e Métodos

A área avaliada está localizada no Campo Experimental do Curú, da Embrapa Agroindústria Tropical, em Paraipaba, CE (3°28'52"S e 39°09'52"W; 30 m acima do nível do mar). O clima da região é Bw (classificação de Köeppen) com 998 mm de precipitação por ano, a temperatura média e a umidade relativa são 26,7°C e 71%, respectivamente.

O solo foi classificado como um Neossolo Quartzarênico (Quartzpsament), com 892 g kg⁻¹ de areia; 32 g kg⁻¹ de silte, e 76 g kg⁻¹ de argila, na camada de 0 a 27 cm (horizonte A), e 820 g kg⁻¹ de areia; 53 g kg⁻¹ de silte, e 126 g kg⁻¹ de argila, na camada de 27 a 76 cm. As características químicas e físicas do perfil deste solo estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas e granulometria do solo Neossolo Quartzarênico no Campo Experimental do Curu - Embrapa Agroindústria Tropical.

Característica	Profundidade (cm)		
	0 a 27	27 a 76	76 a 120+
C orgânico (g kg⁻¹)	8,4	6,6	4,8
pH (água)	4,5	4,0	4,1
P_{Melich} (mg kg⁻¹)	3,9	3,9	2,3
K (mg kg⁻¹)	31	27	27
Ca (cmol_c kg⁻¹)	1,5	0,8	0,7
Mg (cmol_c kg⁻¹)	2,1	1,4	1,14
Na (mg kg⁻¹)	16	18	14
Al (cmol_c kg⁻¹)	0,62	0,78	0,78
H+Al (cmol_c kg⁻¹)	1,6	2,0	2,0
SB (cmol_c kg⁻¹)	4,42	2,34	1,93
CTC (cmol_c kg⁻¹)	6,02	4,34	3,93
V(%)	73	54	49
Argila (g kg⁻¹)	76	126	120
Silte (g kg⁻¹)	32	53	39
Areias (g kg⁻¹)	892	821	841

As amostras de solo foram coletadas em pomares de banana (*Musa ssp.*), caju (*Anacardium occidentale*), goiaba (*Psidium guajava*), graviola (*Annona reticulata*), manga (*Mangifera indica*), sapoti (*Manilkara zapota*) no bulbo molhado na linha das plantas e na região não irrigada entre as linhas de plantio. Com exceção da banana, que estava com 2 anos de cultivo, todas as outras culturas estavam com 6 anos. Amostras adicionais foram coletadas em uma área adjacente sob floresta secundária classificada como "Caatinga Hipoxerófila" (Brasil, 1973) e também em uma área após 2 anos de desmatamento e de aração.

O espaçamento das fruteiras eram: 5,0 m X 3,0 m para caju, manga e sapoti (667 plantas ha⁻¹); 3,0 m X 3,0 m, para goiaba e graviola (1111 plantas ha⁻¹); e 4,0 m X 2,0 m para banana (1250 plantas ha⁻¹). Todas as frutas receberam regularmente calagem e adubações e eram irrigadas por microaspersão movida por um sistema de bombeamento com energia hidroelétrica. As taxas de descarga e áreas molhadas eram 20 L h⁻¹ e 1,0 m² de diâmetro para todas as frutas, e 28 L h⁻¹ e 1,5 m² apenas para a banana.

As amostras foram coletadas em trincheiras (em triplicata) abertas até 70 cm de profundidade e com 1m² de área.

As profundidades de amostragem foram: 0 a 10, 10 a 20, 20 a 40, e 40 a 60 cm. A densidade do solo foi medida para cada profundidade pelo método do anel volumétrico (anel de Kopecky), confeccionados em aço e com dimensões de 5 X 5 cm. O estoque de carbono e de nitrogênio foram calculados até 60 cm de profundidade em uma unidade de área para todas as profundidades, e a correção da compactação do solo foi feita de acordo com Sisti *et al.* (2004). Para o cálculo dos estoques totais de C e N (em Mg ha⁻¹) foi considerado a porcentagem das áreas molhadas e secas de cada cultura, como sendo função do população e da área molhada. Desse modo, considerou-se que a área irrigada e não irrigada foram: caju, manga e sapoti, 6,67 e 93,33%; goiaba e graviola, 11,11 e 89,89%; banana, 18,75 e 81,25%.

As amostras de solo foram secas ao ar e peneiradas (2 mm). O carbono e nitrogênio total foram determinados por combustão úmida (Walkey-Black) e digestão semi-micro-Kjeldahl, respectivamente (Embrapa, 1997). Determinou-se ainda o pH (água); matéria orgânica (Walkey-Black); P e K (Mehlich-1); Ca, Mg e Al (KCl); acidez potencial, H+Al (acetato de Ca); e condutividade elétrica seguindo as metodologias descritas por Embrapa (1997) e Silva *et al.* (1998). A seguir calculou-se a soma de bases, capacidade de troca de cátions e saturação por bases.

As análises de variância dos dados obtidos foram realizadas, e foi utilizado o teste de Duncan ($p < 0,1$) para diferenciar as médias seguindo Gomes & Garcia (2002) e utilizando o programa estatístico SAS (1990).

Resultados e Discussão

O estudo foi conduzido em um Neossolo Quartzarênico, sendo que os solos desta classe são essencialmente de areias quartzosas, muito profundos e apresentam seqüência de horizontes AC, excessivamente drenados, acidez moderada a forte, saturação de bases baixa a muito baixa, teor de argila inferior a 15% e fertilidade natural muito baixa (Brasil, 1973). Como será demonstrado, estas características condicionaram os resultados obtidos.

Fertilidade do Solo

A análise química do solo é um dos sistemas mais usados no Brasil para avaliação da fertilidade do solo. Através de extratores químicos, procura-se determinar o grau de suficiência ou deficiência destes elementos no solo, além de quantificar condições adversas que possam prejudicar o desenvolvimento das plantas. Na Tabela 2 são apresentados os resultados da análise química para fins de avaliação da fertilidade de um Neossolo Quartzarênico para amostras coletadas na linha e entrelinha de cultivo de fruteiras irrigadas.

A drenagem excessiva e os baixos teores de argila, associados à irrigação, proporcionaram uma melhoria da fertilidade nas camadas inferiores (abaixo dos 20 cm). Os resultados mostram que na linha a tendência é de haver uma melhoria em todas as camadas estudadas, uma vez que não se observou diferenças significativas para as amostras coletadas nas diferentes profundidades. Já na entrelinha, onde não há aplicação de água de irrigação, observa-se uma estratificação entre as camadas, apresentando diferenças significativas entre as médias das camadas amostradas.

O fósforo é um dos nutrientes que merecem mais atenção para a produção agrícola nos solos do Nordeste, uma vez que é um dos nutrientes que mais freqüentemente apresenta respostas positivas na região (Sampaio *et al.*, 1995; Faria, 1992). A disponibilidade deste elemento em condições naturais é muito baixa (Galvão & Cate Junior, 1969). Ele pode formar compostos de baixa solubilidade nos solo, ou se ligar em diferentes combinações a Fe, Al, Ca matéria orgânica e outros elementos.

As plantas utilizam o fósforo presente na solução do solo, porém estes teores geralmente são muito baixos (da ordem de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$), e insuficientes para suprir as necessidades dos vegetais. Esta forma se encontra em equilíbrio com as formas lábeis de P na fase sólida, e os resultados de análise química para fins de fertilidade procuram caracterizar esta forma (Raj & Bataglia, 1991; Fageria *et al.*, 1999).

Tabela 2. Parâmetros de fertilidade de um Neossolo Quartzarênico da linha e entrelinha de cultivo de fruteiras irrigadas em Paraipaba, CE.

Fruteiras	Prof Cm	pH		P		K		Na		Ca		Mg		Al		H+Al		S		CTC		V		C.E.			
		Água		Bulbo molhado	Área não irrigada	Bulbo molhado	Área não irrigada	Bulbo molhado	Área não irrigada	Bulbo molhado	Área não irrigada	Bulbo molhado	Área não irrigada	Bulbo molhado	Área não irrigada	Bulbo molhado	Área não irrigada	Bulbo molhado	Área não irrigada	Bulbo molhado	Área não irrigada	Bulbo molhado	Área não irrigada	Bulbo molhado	Área não irrigada	Bulbo molhado	Área não irrigada
				mg dm ⁻³								cmol. dm ⁻³												%		mS cm ⁻¹	
Banana	0 – 10	7,9 a	7,3	9,7 a	26,7 a	38 abB	75 aA	45	130	1,77 a	2,23 a	1,37 a	1,37 a	0,00	0,03	0,20	0,47	3,43 a	4,37 a	3,60 a	4,80 a	95,3 a	91,0	0,10	0,18		
	10 – 20	7,8 ^b	7,2	4,2 b	7,1 b	32 ab	24 b	58	84	1,57 a	1,73 ab	0,93 ab	0,90 ab	0,00	0,00	0,37	0,60	2,83 a	3,07 b	3,23 ab	3,63 ab	88,0 ab	83,7	0,08	0,11		
	20 – 40	7,3bc	6,7	1,5 b	3,1 b	17 b	18 b	53	68	1,10 ab	1,03 bc	0,63 b	0,60 b	0,00	0,00	0,37	0,60	1,90 b	1,97 b	2,30 bc	2,57 bc	83,3 b	76,0	0,07	0,11		
	40 – 60	7,1c	6,3	1,0 b	2,7 b	43 a	28 b	37	43	0,70 b	0,77 c	0,60 b	0,43 b	0,00	0,00	0,40	0,60	1,60 b	1,47 b	1,97 c	2,03 c	81,0 b	71,7	0,05	0,10		
Caju	0 – 10	6,5	6,0	20,4	11,9	122 a	99	56 A	18 B	1,60 a	2,03 a	1,03	1,33	0,00	0,03	1,43	1,70	3,20 a	3,70 a	4,63	5,37 a	69,3	68,0	0,11	0,08		
	10 – 20	6,2	5,5	5,2	10,9	61 b	65	20	8	0,67 ab	0,90 b	0,80	0,70	0,07	0,10	1,43	1,87	1,73 b	1,80 b	3,13	3,67 b	55,7	48,7	0,04	0,06		
	20 – 40	6,2	5,7	2,5	13,2	46 bB	86 A	22	9	0,53 ab	0,47 b	0,73	0,77	0,07	0,10	1,40	1,77	1,47 b	1,50 b	2,83	3,33 b	52,0	44,3	0,04	0,04		
	40 – 60	5,2	5,8	2,0	9,4	39 bB	87 A	25	16	0,23 b	0,33 b	0,83	0,70	0,13	0,20	2,97	1,87	1,27 b	1,33 b	4,27	3,20 b	34,7	40,7	0,06	0,03		
Goiaba	0 – 10	6,1	6,1 a	129,6	81,4	89	98	53	9	1,90 a	2,10 a	0,90	1,20 a	0,00	0,00 b	1,17	1,73	3,23 a	3,60 a	4,43	5,33 a	74,7 a	66,7 a	0,12	0,11		
	10 – 20	5,6	5,5 ab	24,0	12,1	55	65	30	4	0,97 ab	0,60 a	0,80	0,63 b	0,03	0,13 ab	1,27	2,03	2,03 b	1,43 b	3,30	3,47 b	62 abA	40 abB	0,11	0,05		
	20 – 40	5,6	5,3 ab	28,3	9,0	75	42	15	3	0,60 ab	0,33 b	0,63	0,63 b	0,13	0,23 ab	1,77	1,83	1,5 bc	1,10 b	3,27	2,97 b	46,3 ab	35,0 b	0,07	0,05		
	40 – 60	5,6	5,1 b	24,9	4,8	61	40	20	4	0,47 b	0,20 b	0,50	0,47 b	0,30	0,43 a	2,37	2,23	1,20 c	0,80 b	3,57	3,03 b	35,3 b	26,0 b	0,05	0,07		
Graviola	0 – 10	7,3 A	6,6 aB	65,6	42,0 a	96	160 a	52 A	14 aB	2,90	2,07 a	0,87	1,77 a	0,00 b	0,00 c	0,23 B	0,97 A	4,23 a	4,30 a	4,47 a	5,30 a	95,3 A	80,3 aB	0,08	0,09 a		
	10 – 20	6,8	6,0 b	64,3	8,1 b	57	47 b	53 A	2 bB	1,37	1,03 ab	1,07	1,03 ab	0,00 b	0,03 bc	0,70	1,43	2,80 ab	1,97 b	3,47 ab	3,37 b	81,0	57,7 ab	0,08	0,04 b		
	20 – 40	6,5	5,8 b	29,4	3,5 b	41	66 b	60 A	3 bB	0,87	0,50 b	0,80	0,80 b	0,07 b	0,10 b	0,87	1,77	2,07 b	1,47 b	2,93 b	3,23 b	70,3	47,0 ab	0,08	0,04 b		
	40 – 60	5,9	5,7 b	71,0	1,7 b	47	95 ab	65 A	2 bB	0,97	0,30 b	0,47	0,63 b	0,13 a	0,23 a	1,43	2,13	1,83 b	1,20 b	3,27 b	3,33 b	55,0	35,0 b	0,07	0,03 b		
Manga	0 – 10	6,1 a	6,4 a	64,5	27,8 a	66	133 a	23	7	1,57	1,73 a	0,87 A	1,6 aB	0,00	0,00	1,17	1,17	2,7 aB	3,7 aA	3,87 B	4,87 aA	70,3 a	76,3 a	0,08	0,08		
	10 – 20	4,9 b	6,0 ab	70,0	5,9 b	38	69 b	8	3	0,50	0,50 b	0,67	0,77 b	0,40	0,03	2,27	1,50	1,30 b	1,43 b	3,57	2,97 b	38,0 b	48,3 b	0,10	0,06		
	20 – 40	5,6 ab	5,7 b	49,9	2,5 b	38	58 b	5	11	0,40	0,20 b	0,60	0,83 b	0,13	0,10	1,33	1,60	1,10 b	1,23 b	2,43	2,83 b	45,0 ab	43,3 b	0,04	0,06		
	40 – 60	5,9 abA	5,4 bB	18,7	1,8 b	52	62 b	8	1	0,33	0,20 b	0,73	0,53 b	0,07	0,17	1,30	1,73	1,27 b	0,90 b	2,50	2,67 b	49,3 ab	34,3 b	0,05	0,04		
Sapoti	0 – 10	6,5	6,5 a	111,9	74,5 a	91	194	95 A	13 B	2,77 a	2,40 a	1,60 a	1,47 a	0,00	0,00	1,40	1,33	5,00 a	4,40 a	6,40 a	5,77	81,7	77,7 a	0,15	0,10 a		
	10 – 20	5,2	5,7 ab	102,8	20,6 ab	40 B	90 A	42	5	1,03 b	1,27 ab	0,97 b	0,70 b	0,07	0,07	1,10	2,13	2,30 b	2,23 ab	3,37 b	4,33	67,3	50,3 ab	0,09	0,07 ab		
	20 – 40	6,1	5,6 b	56,9	8,4 b	42 B	83 A	31	4	0,73 b	0,53 b	0,73 b	0,60 b	0,10	0,10	1,30	1,87	1,70 b	1,37 b	3,03 b	3,23	58,7	42,3 b	0,09	0,05 b		
	40 – 60	5,6	5,6 b	52,2	6,9 b	39	95	25	3	0,60 b	0,20 b	0,70 b	0,67 b	0,13	0,13	1,53	1,77	1,50 b	1,13 b	3,03 b	2,87	52,3	39,7 b	0,12	0,04 b		
Caatinga	0 – 10	5,6 a		1,6 a		56 a		9		1,77 a		1,27 a		0,03 b		2,13 ab		3,20 a		5,37 a		58,0 a			0,08		
	10 – 20	5,0 b		0,8 b		20 b		7		0,45 b		0,22 ab		0,17 b		1,53 b		0,77 b		2,30 b		32,7 b			0,06		
	20 – 40	4,7 b		0,8 b		22 b		4		0,24 b		0,12 b		0,43 a		2,30 ab		0,47 b		2,77 b		16,3 b			0,04		
	40 – 60	4,9 b		0,8 b		22 b		4		0,22 b		0,11 b		0,57 a		2,67 a		0,43 b		3,10 b		13,0 b			0,05		
2 anos	0 – 10	5,1		1,6		34		2		0,77		0,63		0,20		1,77		1,50		3,27		44,7			0,06		
	Após	10 – 20	5,4		3,3		46		2		0,70		0,67		0,10		1,70		1,53		3,20		47,0			0,09	
	retirada da	20 – 40	4,8		1,0		34		0		0,23		0,50		0,37		2,27		0,80		3,10		29,3			0,08	
Caatinga	40 – 60	4,7		0,8		21		0		0,24		0,12		0,60		2,73		0,43		3,17		13,7			0,04		

Nota: os resultados são médias de 3 repetições. Médias seguidas por letras diferentes indicam diferenças significativas pelo teste de Duncan ($p < 0,1$) nas profundidades do solo para cada tipo de vegetação. Letras maiúsculas indicam diferenças entre o bulbo molhado e área não irrigada entre as linhas de plantio.

Os resultados da Tabela 2 para este nutriente mostram que não houve diferenças significativas entre os teores na superfície e subsuperfície no bulbo molhado, indicando um descida ao longo do perfil. Foram observados inclusive valores elevados nas camadas inferiores, como nas culturas da goiaba, graviola, manga e sapoti. A exceção foi na cultura da banana, já que também apresentou teores superficiais mais baixos. Esta migração do P, para camadas mais profundas de solos arenosos, quando aplicados em doses elevadas também foi observado por Faria & Pereira (1993). Os resultados mostram também uma correção deste nutriente em relação à condição de mata nativa, que apresentou valores extremamente baixos.

O potássio é o segundo elemento mais absorvido pelas plantas frutíferas, e as quantidades mobilizadas são função da produtividade. Nos solos da área de estudo, as reservas minerais deste nutrientes são muito baixas, insuficientes para manter altas produções, sendo portanto essencial seu fornecimento através da adubação. Este nutriente se apresenta no solo na forma iônica (K^+) e seus sais apresentam alta solubilidade, que associado à baixa capacidade de troca (CTC) destes solos e à irrigação, as perdas por lixiviação podem ser facilitadas. O suprimento de potássio às plantas, na forma catiônica K^+ varia em função da forma que se encontra no solo, da sua quantidade e do seu grau de disponibilidade nas diferentes formas, bem como das características físicas que afetam sua condução, através da solução do solo até a superfície da raiz (Mielniczuk, 1978; Fageria *et al.*, 1999). Segundo Raji (1991), na maioria dos países o índice mais utilizado para avaliar a disponibilidade de potássio é a forma trocável. Para o tipo de solo da área de estudo, o potássio trocável é a forma mais importante para as plantas.

Os resultados para K trocável apresentados na Tabela 2 mostram que não houve diferenças entre as amostras feitas na região de influência da irrigação e da região que não recebeu água. Como no caso do P, existe uma tendência de uniformização dos teores deste nutriente ao longo do perfil do solo sob as culturas da goiaba, graviola, manga e sapoti, especialmente no bulbo molhado, evidenciado pela ausência de diferenças significativas destes teores em função das profundidades. Borges & Kiehl (1997) não verificaram aumentos nos teores de K com o cultivo de fruteiras. Deve ser voltada uma atenção especial para o manejo da adubação potássica neste tipo de solo, de textura arenosa e baixíssima CTC, com relação à lixiviação e perda deste nutriente. O recomendado seria o parcelamento das doses evitando o fornecimento de quantidades elevadas de uma só vez.

O pH, representado pela atividade do íon H^+ na solução do solo, corresponde ao hidrogênio dissociado existente em solução, em equilíbrio com a acidez da fase sólida (colóides orgânicos e minerais do solo). A determinação do pH representa a acidez ativa do solo. Por definição, pH do solo é o inverso da concentração de hidrogênio na solução do solo, ou seja, $pH = -\log_{10} H^+$ ou $pH = \log_{10}(1/H^+)$. No Brasil, é mais comum que o pH do solo seja determinado em suspensão de solo em água (Raij & Bataglia, 1991).

Para o solo sob cultivo de fruteiras, a maioria dos valores observados de pH (Tabela 2), e de acordo com o critério de Classificação Agronômica (Alvarez *et al.*, 1999) são considerados adequados (5,5 a 6,0) a altos (6,1 a 7,0), com alguns valores considerados muito alto ($> 7,0$), como no caso da bananeira.

Na faixa de pH considerada adequada, as plantas têm boas condições de assimilação dos nutrientes essenciais como N, P, K e S. A elevação do pH, provoca a precipitação dos micronutrientes catiônicos metálicos (Cu, Fe, Mn e Zn). Isso torna cada vez menores suas concentrações em solução, culminando com a interferência na biodisponibilidade deste micronutrientes. No caso do Al^{3+} , este efeito é benéfico, uma vez que nestas faixas de pH este elemento fitotóxico fica indisponível (Brady, 1989; Raij, 1991).

A acidez potencial ($H + Al$) é o somatório do H não dissociado, e do Al^{3+} (acidez trocável) adsorvido nos colóides associados à fase sólida do solo. A extração é feita através do uso de solução tamponada de acetato de cálcio 1 mol L^{-1} em pH 7 (Silva *et al.*, 1998). Esta forma de acidez condiciona o tamponamento do solo (Brady, 1989). Por isso neste Neossolo, de textura arenosa e baixa CTC, o tamponamento é muito baixo, ou seja o fornecimento de corretivos podem proporcionar elevações bruscas do pH, como foi observado nos resultados apresentados. De acordo com Alvarez *et al.* (1999), os resultados observados (Tabela 2) no solo sob vegetação natural são considerados baixos (entre 1,01 e 2,5 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), e nos solos sob fruteiras de baixo a muito baixo ($< 1,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)

Cálcio e Mg são considerados bases dos solos, devido ao caráter alcalino que apresentam. As formas mais disponíveis e móveis no solo são as formas trocáveis catiônicas Ca^{2+} e Mg^{2+} , adsorvidos pelas cargas negativas do solo. Estas formas são consideradas trocáveis por serem facilmente deslocadas do solo por soluções salinas, em quantidades estequiometricamente equivalentes de outros cátions (Raij & Bataglia, 1991). Os resultados apresentados na Tabela 2 indicam um interes-

sante efeito de lixiviação no perfil destes 2 nutrientes. Pois existe uma tendência de aumentos nos teores nas camadas abaixo dos 20 cm, mesmo ainda que os maiores valores estejam nas camadas superficiais. Esta presença de Ca e Mg abaixo da superfície pode auxiliar no aprofundamento das raízes, proporcionando maior volume para o sistema radicular. Não foram observadas diferenças entre a amostragem no bulbo molhado e área que não recebeu água.

Observando os teores destes nutrientes no solo sob condição natural e após a retirada da cobertura original (Tabela 2), verifica-se que a vegetação provavelmente retém eficientemente estes nutrientes, mantendo-os nas camadas superficiais. Porém após esta retirada, o ciclo é quebrado e existe então uma uniformização destes nutrientes ao longo do perfil. Borges & Kiehl (1997) observaram que o cultivo de banana e citros elevaram os teores de Ca e Mg, principalmente nos horizontes superficiais. Os resultados obtidos podem ser classificados, de acordo com Alvarez *et al.* (1999), como médios (entre 1,21, e 2,4 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) para o Ca. E de médio (entre 0,46 a 0,9 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) a bom (0,91 a 1,5 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) para o Mg.

A forma trocável do alumínio (Al^{3+}) representa a acidez trocável dos solos, extraída com soluções de sais neutros não tamponados. Esta forma de alumínio é a fitotóxica e limitante ao crescimento vegetal (Raij & Bataglia, 1991). Porém este elemento não apresenta problemas ou limitação ao cultivo destas fruteiras na área de estudo, como pode ser observado nos valores apresentados na Tabela 2.

A prática da calagem teve efeitos benéficos nas culturas avaliadas, já que pode-se observar um aumento do pH, a conseqüente diminuição do Al trocável tóxico, bem como da acidez potencial. Outro efeito benéfico da calagem pode ser observado no aumento das bases trocáveis, Ca e Mg, e a conseqüente aumento no valor da soma de bases (S) e saturação por bases (V%).

A capacidade de troca de cátions (CTC) é de grande importância na agricultura, pois é devido a este fenômeno que os solos retêm cátions como Ca, Mg K e outros em menores quantidades, evitando que sejam lixiviados e ao mesmo tempo mantendo-os disponíveis aos vegetais (Raij, 1991). A CTC, em geral medida a pH 7, tem um valor relativamente constante para cada solo, dentro das condições padronizadas de determinação (Raij & Bataglia, 1991). É uma característica difícil de ser alterada em pouco tempo, e um dos motivos é participação da matéria orgânica, que será discutida em um item a seguir. A Tabela 2 confirma a influência da matéria orgânica uma vez que os maiores valores, independentemente da cultura ou se

amostra foi coletada no bulbo molhado ou na área sem irrigação, foram sempre observados nas camadas superficiais (0 a 10 e 10 a 20 cm). Os resultados no geral também mostraram que não houve influência do fornecimento de água na alteração desta característica, tendo sido observada apenas uma exceção na camada de 0 a 10 cm da cultura da mangueira. Os valores observados de CTC, de acordo com os critérios propostos por Alvarez *et al.* (1999), podem ser considerados entre baixo (entre 1,61 e 4,3 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e médios (entre 4,31 e 8,6 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

A saturação por bases expressa a parte da CTC ocupada por Ca, Mg e K. Os valores obtidos neste estudo (Tabela 2) são muito altos, indicando que o solo apresentava baixa acidez e alumínio trocável e que grande parte da CTC estava ocupada pelas bases trocáveis. No geral, estes valores foram muito parecidos com a tendência observada para CTC, ou seja, não houve diferenças entre o bulbo molhado e a área sem irrigação e os maiores valores foram observados superficialmente (até 20 cm). Seguindo os critérios propostos por Alvarez *et al.* (1999), os valores de V% para as camadas superficiais (até 20 cm) podem ser considerados: a) médio (entre 40 e 60%) para o solo sob vegetação natural; b) bom (entre 60 e 80%) para as culturas do caju, goiaba, manga e sapoti, e c) muito bom (acima de 80%) para as culturas da banana e graviola.

Há uma relação direta entre os valores da saturação por bases com o pH, e a Figura 1 ilustra esta relação encontrada nos solos desta área. Segundo Raij (1991), esta relação tem sido demonstrada em vários trabalhos e regiões do mundo e apresenta invariavelmente estreita correlação, como a relação obtida neste estudo.

A condutividade elétrica é um excelente indicador das presença de sais no solo, e serve também como indicativo de atividade biológica. Funciona acima de tudo como um indicador e um estimador prático da concentração de nutriente e seu uso, da lixiviação potencial do solo e da estabilidade estrutural (Sans, 2000). Os resultados da Tabela 2 indicam que apenas na cultura da bananeira os valores estão mais elevados. Nas demais culturas, observa-se que os valores estão próximos aos observados na condição de vegetação natural.

Os resultados de Na (Tabela 2), apesar de apresentarem aumentos na área que recebe irrigação nas culturas do caju, graviola e sapoti, também não atingiram níveis muito elevados, comparados à vegetação natural. Sendo que a cultura da bananeira, apenas apresentou valores mais levados. Estes resultados mostraram que nos pomares de fruteiras irrigados não está havendo problemas de salinização.

Confirmando as observações de Oliveira *et al.* (2002), segundo as quais, apesar das características edáficas interferirem no processo de salinização/sodificação, sem dúvida, a baixa qualidade da água de rega, é o fator preponderante neste processo de perda de qualidade do solo. E provavelmente a qualidade da água utilizada nestas fruteiras apresenta-se adequada.

Matéria orgânica do solo

A quantidade de carbono orgânico do solo - COS é função das taxas de decomposição e da quantidade e composição dos resíduos das culturas, raízes das plantas, e outros materiais orgânicos (Follett, 2001). Os níveis de COS nos solos refletem, após alguns anos, o balanço entre as adições e perdas deste carbono orgânico. Após o advento do cultivo do solo, este equilíbrio foi rompido e maiores quantidades de C na MOS foram expostas aos processos oxidativos.

O N é um macronutriente absorvido e exportado em grandes quantidades nas colheitas. A maior parte do N do solo está na forma orgânica, não disponível para as plantas. Para que o elemento se torne disponível, deve passar pelo processo de mineralização que consiste na transformação para formas de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-). A determinação do N total é um dos métodos mais antigos e confiáveis de análise de solo, porém apenas do ponto de vista de obtenção do resultado de laboratório. Pois, para efeitos de recomendação de adubação, este resultado não tem sido utilizado (Raij & Bataglia, 1991; Fageria *et al.*, 1999). Porém, segundo os autores é imprescindível a determinação destes teores em ensaios de longa duração para acompanhar a evolução e determinar eventualmente os índices de mineralização ou de acúmulo do nutriente.

Os níveis de carbono e nitrogênio do solo são apresentados na Tabela 3. No geral, não houve diferenças nos níveis de C e N entre as amostras do bulbo molhado e das áreas não irrigadas entre as linhas de plantio. Entretanto, foram observadas diferenças significativas nos solos sob cultivo de bananeira e mangueira especialmente nas camadas superficiais (0 a 10 cm). Estes resultados podem ser considerados (Alvarez *et al.*, 1999) muito baixos (abaixo de $0,4 \text{ g kg}^{-1}$) a baixos (entre $0,41$ e $1,16 \text{ g kg}^{-1}$).

Os teores de carbono e nitrogênio dos solos dos bulbos molhados e área não irrigada entre as linhas de plantio foram significativamente maiores na camada superficial (0 a 10 cm) devido à influência da decomposição do líter e da alta densidade de raízes (Tabela 3). Os valores observados de COS estavam entre 4 e

Tabela 3. Níveis de carbono e nitrogênio, capacidade de troca de cátions, densidade do solo e estoques de carbono e nitrogênio em função da vegetação de um Neossolo Quartzarênico em Paraipaba-CE.

Vegetação	Prof Cm	Carbono		Nitrogênio		Densidade do solo		Estoque				Total	
		g kg ⁻¹		g kg ⁻¹		g cm ⁻³		Carbono		Nitrogênio			
		Subso molhado	Área não irrigada	Subso molhado	Área não irrigada	Subso molhado	Área não irrigada	Subso molhado	Área não irrigada	Subso molhado	Área não irrigada		
Banana	0-10	3,93 a B	5,20 a A	0,37 a B	0,40 a A	1,59 A	1,48 b B	6,26	5,45	0,48 b	0,48 b	5,60 B	0,48 b C
	10-20	3,53 a	4,30 a	0,30 a	0,37 a	1,54	1,56 ab	5,41	6,17	0,56 b	0,53 b	6,03	0,53 b
	20-40	2,07 b	2,27 b	0,27 ab	0,23 b	1,57	1,60 ab	6,46	9,91	0,53 b	0,95 a	9,26	0,93 a
	40-60	1,47 b	1,57 b	0,17 b	0,20 b	1,58	1,65 a	4,65	8,04	0,83 a	0,77 ab	7,41 B	0,73 ab C
Caju	0-10	4,37 a	6,53 a	0,40 a	0,53 a	1,60 A	1,48 B	6,94 ab	6,47	0,64 b	0,55	6,50 B	0,55 BC
	10-20	3,33 ab	3,23 b	0,27 b	0,30 b	1,53	1,48	3,77 b	5,33	0,41 c	0,56	5,23	0,55
	20-40	2,47 ab	2,43 b	0,27 b	0,27 b	1,53	1,48	5,88 ab	11,26	0,61 b	0,55	10,90	0,99
	40-60	1,93 b	2,30 b	0,20 b	0,23 b	1,56	1,51	10,46 a	8,04	0,83 a	0,74	8,20 B	0,75 B
Goiaba	0-10	5,07 a	6,90 a	0,40 a	0,53 a	1,57	1,50	7,96 a	6,82	0,63 bc	0,53	6,94 B	0,54 BC
	10-20	3,20 b	3,43 b	0,27 b	0,33 b	1,56	1,56	4,97 b	5,65	0,42 c	0,53	5,58	0,52
	20-40	2,50 b	2,37 c	0,27 b	0,23 b	1,62	1,61	8,09 a	11,63	0,86 a	1,02	11,24	1,00
	40-60	2,47 b	2,47 c	0,23 b	0,23 b	1,59	1,63	7,80 a B	10,60 A	0,74 ab B	1,00 A	10,28 A	0,97 B
Graviola	0-10	6,30 a	6,70 a	0,60 a	0,73 a	1,48	1,52	9,43 a	7,22	0,89 a	0,86	7,47 B	0,86 AB
	10-20	3,40 b	3,20 b	0,30 b	0,33 b	1,50	1,59	5,07 b	6,39	0,44 b	0,66	7,26	0,75
	20-40	2,30 bc	2,80 b	0,23 b	0,27 b	1,64	1,59	7,55 ab	10,83	0,77 a	1,19	10,47	1,14
	40-60	1,73 c B	2,53 b A	0,23 b	0,27 b	1,58	1,52	5,47 bc B	9,84 A	0,74 a	0,78	9,35 B	0,77 B
Manga	0-10	4,10 a B	7,27 a A	0,37 a B	0,67 a A	1,61	1,59	6,58	5,41	0,59 a	0,65	5,49 B	0,65 BC
	10-20	3,60 ab	2,63 b	0,23 b	0,33 b	1,65	1,58	5,84	6,02	0,38 b	0,68	6,01	0,66
	20-40	1,80 bc	1,90 b	0,20 b	0,20 c	1,59	1,52	5,76	13,17	0,64 a	1,05	12,67	1,02
	40-60	1,50 c	1,73 b	0,20 b	0,27 bc	1,53	1,57	4,63	6,51	0,61 a	0,92	6,38 B	0,90 B
Sapoti	0-10	9,23 a	7,73 a	0,57 a	0,63	1,37 b	1,43 b	12,78 a	6,33	0,47 b	0,80	6,76 B	0,49 C
	10-20	3,27 b	5,13 ab	0,30 b	0,40	1,65 a A	1,53 ab B	5,38 b	6,16	0,76 ab	0,49	6,11	0,74
	20-40	2,10 b	2,80 b	0,23 b	0,30	1,59 a	1,77 a	6,66 b	13,97	1,39 ab	0,74	13,48	1,34
	40-60	2,03 b	2,17 b	0,23 b	0,40	1,63 a	1,62 ab	6,63 b	15,76	1,55 a A	0,76 B	15,15 A	1,50 A
Caatinga	0-10		9,67 a		0,77 a		1,36 b		13,13 a		1,04	13,13 a A	1,04 A
	10-20		3,33 b		0,33 b		1,42 b		4,71 c		0,47	4,71 c	0,47
	20-40		3,27 b		0,30 b		1,49 a		9,73 b		0,89	9,73 b	0,89
	40-60		3,03 b		0,30 b		1,54 a		9,26 b		0,92	9,26 b B	0,92 A
2 anos	0-10		4,80 a		0,47 a		1,43 b		6,87 c		0,67 b	6,87 c B	0,67 b BC
	Após	10-20		4,20 ab		0,43 ab		1,45 ab		6,07 c		6,07 c	0,63 b
Retirada da Caatinga	20-40		3,97 ab		0,37 bc		1,42 b		11,29 a		1,04 a	11,29 a	1,04 a
	40-60		3,00 b		0,33 c		1,53 a		9,15 b		1,02 a	9,15 b B	1,02 a B

9 kg ha⁻¹, e estão em concordância com os valores estabelecidos por Tiessen *et al.* (1998). Estes autores, baseados em informações de mapeamentos de solos da região NE do Brasil, observaram valores de teores de C entre 4 a 11 g kg⁻¹ para solos de textura média e de 10 a 20 g kg⁻¹ para os solos de textura mais argilosa.

De acordo com Raij & Bataglia (1991), a determinação da relação carbono:nitrogênio é importante em ensaios deste tipo. Assim, os valores para as relações C:N estão apresentados na Tabela 3. A tendência de valores mais altos na camada superficial também foi seguida pela relação C:N, cujos valores foram relativamente mais altos na camada superior (aproximadamente 12) que nas camadas abaixo (menores que 10), Tabela 3. Alves *et al.* (1999) encontraram valores próximos a estas relações em um estudo com vinte solos de Pernambuco.

A MOS e sua transformação desempenham um papel essencial na fertilidade e qualidade dos solos. Usualmente a função mais importante atribuída à matéria orgânica é como uma reserva de nitrogênio e de outros nutrientes requeridos pelas plantas, no entanto, a MOS também desempenha um papel extremamente importante nos solos tropicais afetando as propriedades químicas destes solos como no desenvolvimento das cargas elétricas (Sanchez, 1976). A maior responsável pelas cargas negativas, e portanto pela capacidade de troca de cátions, é a MOS que contribui com 60 a 80% da CTC total do solo (Raij, 1969). A CTC foi sempre maior na camada superior que nas camadas inferiores, denotando a influência da MOS nesta propriedade química (Tabela 1). Os resultados na Figura 2 mostram esta relação positiva entre CTC e os níveis de C, estabelecido para todas as culturas e profundidade do solo.

A dinâmica da matéria orgânica do solo é condicionada por muitos fatores, cuja ação em geral não é previsível *a priori*. Mas espera-se que haja uma relação direta entre os resultados dos teores totais do N e os teores de matéria orgânica ou carbono orgânico (Raij & Bataglia, 1991). Os resultados obtidos neste estudo confirmaram esta afirmação, uma vez que os teores de C e N totais apresentaram uma correlação positiva e significativa, independente da cultura, profundidade amostrada, ou da irrigação (Figura 3). Esta relação direta entre os teores de N e C, mostram que solos com maiores teores de matéria orgânica, também o são em relação ao N, e que a perda desta MOS também compromete a disponibilidade N às plantas, acarretando em perdas de produção.

Este solo é extremamente pobre em nutrientes e depende da reciclagem de nutrien-

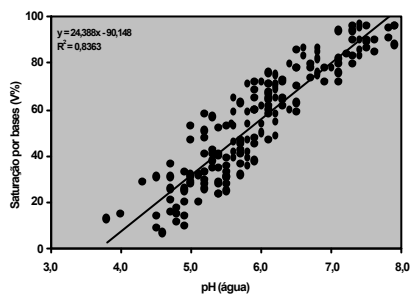


Fig. 1. Correlação entre os valores de saturação por bases (V%) e pH em água do Neossolo Quartzarênico em Paraipaba-CE.

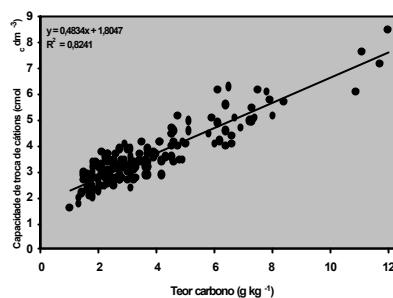


Fig. 2. Correlação entre os teores de carbono e capacidade de troca de cátions de um Neossolo Quartzarênico em Paraipaba-CE.

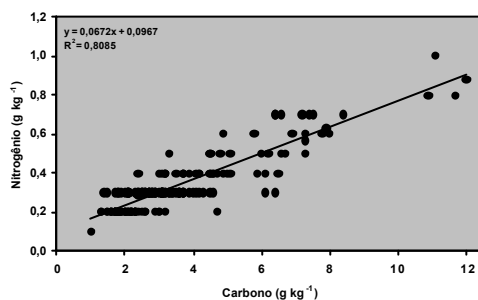


Fig. 3. Correlação entre os teores de carbono e de nitrogênio de um Neossolo Quartzarênico em Paraipaba-CE.

tes da MOS para manutenção de sua fertilidade. Por isso, a quantificação da MOS pode fornecer uma importante orientação para o potencial agrícola dos solos, pois é um indicativo da fertilidade, estabilidade, erosão e atividade biológica do solo (Sans, 2000). Tiessen *et al.* (1994) estudaram o papel da matéria orgânica na manutenção da fertilidade de solos (Ferralsol/Oxisol) sob vegetação nativa da região do semi-árido brasileiro, e os resultados indicaram que a agricultura sem adubações suplementares foi econômica por seis anos. Salcedo *et al.* (1997) mostraram que após a degradação da fertilidade do solo (perdas de C, N e P), não bastam apenas o fornecimento de fertilizantes inorgânicos para a recuperação da fertilidade, pois provavelmente será necessário aumentar o teor de matéria orgânica.

Além disso, a quantificação da MOS também auxilia no estabelecimento da medida do seqüestro de carbono e da diminuição da contribuição do CO₂ para o aquecimento global.

Densidade do solo

A densidade do solo é uma propriedade largamente utilizada na agricultura especialmente relacionada às práticas de manejo do solo e da água. É uma medida que pode ser utilizada para determinar a estrutura do solo. O interesse por sua determinação tem aumentado devido às expansões dos cultivos em terras irrigadas, do sistema plantio direto, e também dos estudos com compactação do solo. Mais recentemente devido à necessidade de avaliação dos estoques de carbono no solo.

A relação entre a massa de solo seco a 105°C e o volume ocupado por estas partículas do solo e poros pode ser definida como densidade do solo. A medida depende da natureza, dimensões e arranjo das partículas do solo (Blake & Hartge, 1986; Kiehl, 1979; Brady, 1989).

Os resultados da Tabela 3 também indicaram que a densidade do solo não foi afetada pela profundidade de amostragem nos solos sob os pomares de fruteiras provavelmente devido ao pequeno tráfego na área e à distribuição homogênea de areia ao longo do perfil. Mas o solo sob a vegetação nativa apresentou densidade significativamente menor na camada superficial (0 a 10 cm), provavelmente devido aos maiores teores observados de MOS nestas camadas.

Estoques de Carbono e Nitrogênio

Os estoques de carbono e nitrogênio (Tabela 3) no bulbo molhado e na região não irrigada entre as linhas de plantio foram calculados considerando a correção da compactação do solo (Sisti *et al.*, 2004). Para os resultados dos estoques totais de carbono e nitrogênio foram consideradas as porcentagens de área irrigadas e não irrigadas, como função da população da cultura e do perímetro úmido. Assim a porcentagem de área irrigada calculada foi: 18,75% para banana; 11,11% para goiaba e graviola; e 6,67% para caju, manga e sapoti, e o restante da área foi considerado não irrigado.

A transformação da vegetação induziu mudanças no armazenamento de carbono e de nitrogênio (Tabela 3). Considerando os primeiros 20 cm, a Caatinga armazenou 17,84 Mg ha⁻¹ de C, e com sua retirada este estoque diminuiu em 28% (12,94 Mg ha⁻¹). Estas quantidades são mais baixas que os valores obtidos por Kauffman *et al.* (1993) e Tiessen *et al.* (1998), na mesma região, os quais encontraram valores de 20 a 28 Mg ha⁻¹, nas camadas superficiais de um Latossolo e de um Argissolo, respectivamente. E também menores que os de Borges & Kiehl (1996) que encontraram valores em torno de 100 Mg ha⁻¹, em um Latossolo amarelo álico da Bahia, avaliado até 1 metro de profundidade.

A Figura 5 ilustra as diferenças nos estoques de carbono e nitrogênio dos solos sob a vegetação secundária natural, 2 anos após a retirada desta vegetação, e das fruteiras até 60 cm de profundidade. Os valores de $36,83 \text{ Mg ha}^{-1}$ (até 60 cm) da Caatinga estão em concordância com os valores apresentados por Tiessen *et al.* (1998) para a região semi-árida do Nordeste do Brasil.

Nos pomares de goiaba, banana, caju e manga foram observadas reduções de 30 a 35% do estoque de C na camada de 0 a 20 cm. Nos pomares de graviola e sapoti, observou-se uma tendência de recuperação dos estoques de C, uma vez que eles foram 7 e 5% maiores que na área em que a vegetação natural foi retirada (Figura 5). Entretanto, de acordo com Batjes (2001), um longo período será

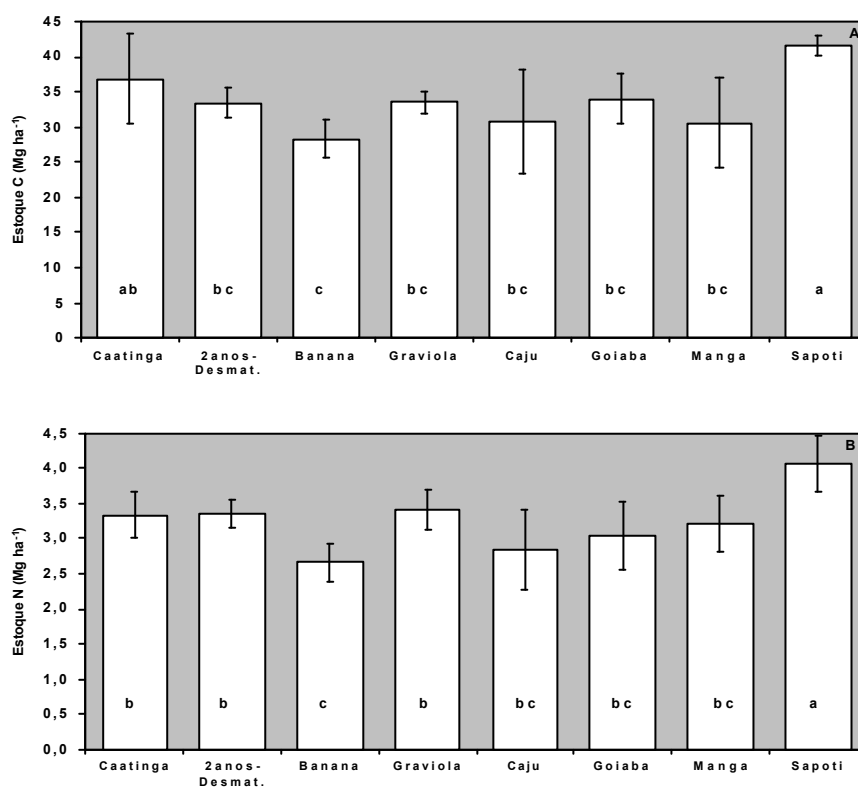


Fig. 4. Estoques de carbono (A) e nitrogênio (B) até 60 cm de profundidade de um Neossolo Quartzarênico em função da vegetação em Paraipaba-CE. Os valores seguidos por letras diferentes diferem significativamente pelo teste de Duncan ($p < 0,1$).

necessário antes que um novo estágio de equilíbrio seja alcançado. Porém diferenças maiores puderam ser observadas até as camadas mais profundas amostradas. Os resultados de Borges & Kiehl (1996) mostraram que uma cultura de citros com 38 anos de implantação ainda apresentava valores de estoque de carbono 10% menores que a vegetação natural. Culturas como banana, mandioca e manga com 15 anos de plantio, apresentavam reduções em torno de 20% do total.

Na mesma Figura 5, observa-se que, dois anos depois da retirada da Caatinga, houve uma redução de 9% do estoque de C. Depois de 6 anos do cultivo das fruteiras, houve uma redução de 6 a 23% nos estoques de carbono nos pomares de caju, manga e banana em comparação com a vegetação natural. O pomar de graviola apresentou uma redução de 6% em relação a vegetação natural, porém foi 4% maior em relação à área da qual a mata foi retirada. Os estoques de nitrogênio apresentaram reduções de 3 a 20% para manga, goiaba, caju e banana. Mas também houve aumentos de 6 a 23% para graviola e sapoti. Resultados de Salcedo *et al.* (1997) mostraram que depois de seis anos de cultivo manual houve 16% de declínio da MOS.

Estes resultados indicaram que este solo contém poucas formas estáveis de carbono, e o cultivo promoveu uma desestabilização na MOS e induziu a perdas de carbono apesar do aporte anual de algumas culturas. Resultados de Tiessen *et al.* (1994) usando carbono marcado confirmaram esta rápida ciclagem, mostrando que o período médio de permanência do carbono remanescente depois de 30% de perda não era maior que aqueles dos solos não cultivados.

Deste modo, os resultados da Figura 5 indicam que houve diferenças significativas entre as espécies avaliadas com relação ao seqüestro total de carbono. O sapoti (*M. zapota*) foi o mais eficiente no aporte de carbono ao solo. A graviola (*A. reticulata*) também apresentou um potencial de recuperação do estoque de carbono e nitrogênio. De acordo com Follett (2001) os resíduos das culturas são altamente importantes para o aumento dos COS assim como também são importantes a biomassa de raízes e de plantas invasoras. O aumento da MOS pelo retorno de resíduos e raízes das culturas ao solo dependem da quantidade e qualidade do resíduo, seu manejo, e propriedades do solo. Assim provavelmente a qualidade dos resíduos de sapoti e graviola apresentam um maior potencial para intensificar o processo de humificação.

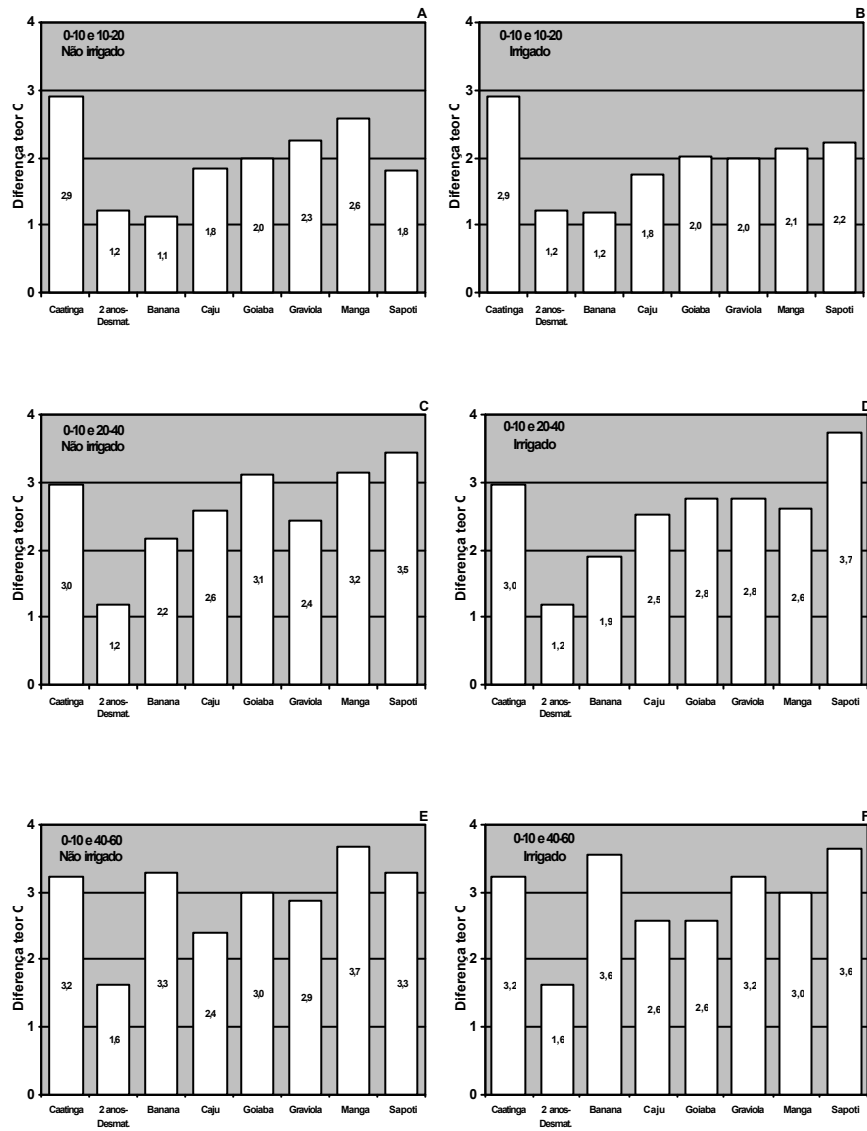


Fig. 5. Diferenças entre os teores de carbono na camada de 0 a 10 cm e as camadas de 10 a 20 cm (A e B), 20 a 40 cm (C e D) e 40 a 60 cm (E e F) na área não irrigada (A, C e E) e irrigada, ou o bulbo molhado (B, D e F) baseados no índice proposto por Franzluebbers (2002).

Índice de degradação do solo

O grau de estratificação do COS nas diferentes profundidades de amostragem, expressos como uma relação, pode ser um indicativo da qualidade do solo ou do funcionamento do seu ecossistema, pois a matéria orgânica da superfície é essencial para o controle da erosão, infiltração de água, e manutenção e disponibilização dos nutrientes. As relações de estratificação permitem que sejam feitas comparações na mesma escala entre solos diferentes e também de regiões diferentes, pois tem em seu cálculo um procedimento de normatização que considera as diferenças inerentes de cada solo (Franzluebbbers, 2002). Segundo o autor, índices de estratificação de C maiores que 2, podem indicar adequada qualidade do solo, independente do tipo de solo e do clima, uma vez que em solos degradados esta relação não é na maioria das vezes menor que 2.

Na Figura 5 estão representadas, com base no índice proposto por Franzluebbbers (2002), as relações entre o COS da camada superficial (0 a 10 cm) e as camadas de 10 a 20 cm, 20 a 40 cm e 40 a 60 cm na área não irrigada e irrigada. Observa-se que a diferença entre a camada de 0 a 10 e 10 a 20 cm (Figura 5A e 5B), as relações que indicam perda de qualidade do solo, ou seja menores que 2, foram observadas na área desmatada, nas culturas da banana e caju (bulbo molhado e área não irrigada), e sapoti (área não irrigada). As diferenças entre os teores de carbono da camada superficial (0 a 10 cm) e das camadas de 20 a 40 cm e de 40 a 60 cm, os índices menores que 2 foram observados apenas na área desmatada e no bulbo molhado da bananeira (Figura 5C e 5D) e na área desmatada (Figura 5E e 5F), respectivamente.

Estes resultados fornecem um indicativo que o índice foi adequado para a região agroecológica em que o estudo foi conduzido, e também que as profundidades de amostragem para efeito de comparação mais adequadas foram as diferenças entre as camadas de 0 a 10cm e 10 a 20cm. Os resultados, da diferença entre os teores de COS nestas profundidades, indicam que após a retirada da vegetação natural ocorreu uma redução em torno de 60% deste índice, variando de 2,9 originalmente para 1,2 após os desmatamento. Esta redução indica que houve uma drástica perda da qualidade do solo, pois a remoção da cobertura vegetal original, teve grande impacto sobre a camada superficial do solo. Por outro lado a implantação de culturas como goiaba, graviola, manga e sapoti contribuíram para melhoria destes índices. O valor médio para estas 4 culturas foi 2,1 (acima do limite estabelecido por Franzluebbbers, 2002) e que também indicam uma recuperação em relação ao processo de remoção da vegetação natural. Porém, este índice ainda é 30% menor que o índice originalmente observado na vegetação natural.

Considerações finais

Estes solos ocorrem ao longo da faixa litorânea do Estado do Ceará, isoladamente, ou em associação com outras classes de solos, principalmente Latossolos Vermelho-Amarelos e Argissolos Vermelho-Amarelos. O uso agrícola exige o uso de corretivos e fertilizantes, devido sua fertilidade natural baixa. Outro fator limitante é a baixa capacidade de retenção e armazenamento de água, associado ao clima semi-árido, tornam praticamente obrigatório o fornecimento de água via irrigação. Sem o uso de fertilizantes e de irrigação, estas áreas se destinam ao cultivo de sequeiro do cajueiro e à pecuária extensiva. Os resultados mostraram que a utilização de fruteiras irrigadas pode ser vantajosa do ponto de vista de melhoria da fertilidade do solo.

Estes resultados também demonstraram que algumas fruteiras cultivadas sob irrigação podem ser consideradas como seqüestradoras de carbono (IPCC, 2000), uma vez que foram verificados nestas condições do estudo alterações nos estoques de carbono.

Mesmo com os teores de carbono e capacidade de fixação de CO₂ por hectare das terras em clima secos serem baixas, elas estão exercendo um importante contribuição ao seqüestro global de carbono, ao mesmo tempo que previnem ou diminuem as taxas de desertificação (Robert, 2001).

O potencial da agricultura irrigada para seqüestrar carbono pode ser consideravelmente aumentado pela aplicação de tecnologias adequadas. Terras irrigadas que utilizam bombeamento movido a energia hidroelétrica não estão associadas às emissões de CO₂. Melhorias na eficiência do uso da água (produção de biomassa/unidade de água), eficiência dos equipamentos, programação da irrigação e quantificação da precipitação para diminuição do uso da água, sistemas de irrigação mais eficientes e geração de energia, e variedades melhoradas e uso nutrientes são iniciativas consideradas auxiliares para a redução das emissões de carbono resultantes da irrigação (Follett, 2001).

Conclusões

Os resultados indicaram que, nas condições de solo e manejo das áreas estudadas:

- as propriedades químicas e a qualidade do solo foram influenciadas pelo cultivo e pela natureza da cultura implantada;

- a irrigação proporcionou uma distribuição mais profunda de nutrientes;
- houve aumento nos valores de pH, P, K, Ca, Mg, S, V% e Na, e diminuição nos teores de matéria orgânica, Al e acidez potencial;
- os teores de C e N foram significativamente maiores na camada superficial (0-10 cm);
- a densidade do solo não foi significativamente afetada pelas profundidades de amostragem;
- os estoques de C e N sob a vegetação natural até 60 cm de profundidade foram 36,8 e 3,3 Mg ha⁻¹;
- a CTC aumentou em função dos aumentos na MOS;
- a retirada da vegetação natural e o cultivos de fruteiras diminuiu os estoques de C (6-23%) e N (3-20%);
- o sapoti (*Manilkara zapota*) aumentou os estoques de C e N em 13% em relação à vegetação natural.

Agradecimentos

À Embrapa Agroindústria Tropical, por permitir a coleta das amostras em sua área experimental. Estes resultados são parte do Projeto Embrapa Agrogases (Macroprograma N^o. 01.02.1.03.2.1).

Referências Bibliográficas

ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solo. In: RIBERIO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5. aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 25-32

ALVES, G. D.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H.; SILVA, V. M. Potencial de mineralização de N e de C em vinte solos de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 245-256, 1999.

BATJES, N. H. Options for increasing carbon sequestration in West African soils an exploratory study with special focus on Senegal. **Land Degradation Development**, West Sussex, v. 12, p.131-142, 2001.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: America Society of Agronomy: Soil Science Society of America, 1986. v.1, p. 363-375. (ASA. Agronomy, 9)

BORGES, A. L.; KIEHL, J. C. Alterações da matéria orgânica de um Latossolo amarelo Álico de Cruz das Almas (BA), pelo cultivo com frutíferas perenes e mandioca. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 20, n. 2, p. 313-318, 1996.

BORGES, A. L.; KIEHL, J. C. Cultivo de frutíferas perenes e de mandioca sobre as propriedades químicas de um Latossolo amarelo Álico de Cruz das Almas (BA). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 341-345, 1997.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 898 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento exploratório - reconhecimento de solos do Estado do Ceará**. [Rio de Janeiro]: MA-DNPEA; Recife: SUDENE-DRN, 1973. 2 v. (DNPEA-DPP. Boletim Técnico, 28; SUDENE-DRN. Série Pedologia, 16).

CARDOSO, C.E.L.; SOUZA, J.S. Fruticultura tropical: perspectivas e tendências. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 31, n. 1, p. 84-95, 2000.

CARTER, M. R. Organic matter and sustainability. In: REES, R. M., BALL, B. C., CAMPBELL, C. D.; WATSON, C. A. (Ed.). **Sustainable management of soil organic matter**. New York: CABI Publishing, 2001. p. 9-22

CRASWELL, E. T.; LEFROY, R. D. B. The role and function of organic matter in tropical soils. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrech, v. 61, n. 1-2, p. 7-18, 2001.

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: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-21.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F.; SANTOS, A. B. **Maximização da eficiência de produção das culturas**. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 249 p.

FARIA, C. M. B. **Práticas que favorecem a capacidade produtiva do solo na agricultura de sequeiro do semi-árido brasileiro**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1992. 30 p. (EMBRAPA-CPATSA. Circular Técnica, 28).

FARIA, C. M. B.; PEREIRA, J. R. Movimento do fósforo no solo e seu modo de aplicação no tomateiro rasteiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 28, n. 12, p. 1363-1370, 1993.

FELLER, C. ; BEARE, M. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v. 79, p. 69-116, 1997.

FOLLETT, R. F. Soil management concepts and carbon sequestration in cropland soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 61, n. 1-2, p. 77-92, 2001.

FRANZLUEBBERS, A. J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 66, n. 2, p. 95-106, 2002.

FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O. A.; SANTOS, H. P.; SILVA, C. A.; FADIGAS, F. S. Soil organic carbon and fractions of a Rhodic Ferrasol under the influence of tillage and crop rotation systems in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 64, p. 221-230, 2002.

FULLER, W. H. Organic matter applications. In: SKUJINS, J. (Ed.) **Semi-arid lands and deserts: soil resource and reclamation**. New York: Marcel Dekker, 1991. p. 507-542.

GOMES, F.P.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p. (Biblioteca de Ciências Agrárias Luiz de Queiroz, n. 11).

IPCC. **Climate Change 2001**: IPCC Third Assessment Report: Climate Change: the scientific basis. contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 944p.

IPCC. Land use, land use change, and forestry. In: WATSON, R. T.; NOBLE, I. R.; BOLIN, B.; RAVINDRANATH, N. H.; VERARDO, D. J.; DOKKEN, D. J. (Ed.) **A special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. 30 p.

KAUFFMAN, J. B.; SANFORD JR., R. L.; CUMMINGS, D. L.; SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Biomass and nutrient dynamics associated with slash fires in neotropical dry forests. **Ecology**, Durham, v. 74, n.1, p. 140-151, 1993.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**: relações solo-planta. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262 p.

LAL, R.; KIMBLE, J. M.; FOLLETT, R. F.; COLE, C. V. **The potential of US cropland to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect**. Chelsea: Ann Arbor Press, 1998. 128 p.

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. Conservation and enhancement of soil quality. In: EVALUATION for sustainable land management in the developing world. Bangkok: International Board of Soil Research Management, 1991. v. 2, p. 175-203. (IBSRAM Proceedings, 12 -2).

LARYEA, K. B.; ANDRES, M. M.; PATHAK, P. Long-term experiments on alfisols and vertisols in the semi-arid tropics. In: LAL, R.; STEWART, B. A. (Ed.) **Soil management**: experimental basis for sustainability and environmental quality. Boca Raton: CRC: Lewis Publishers, 1995. p. 267-292.

MACEDO, L. de S. **Salinidade em áreas irrigadas**. João Pessoa: EMEPA, 1988. 11 p. (EMEPA. Comunicado Técnico, 38).

MACHADO, P. L. O. A.; SILVA, C. A. Soil management under no-tillage systems in the tropics with special reference to Brazil. **Nutrient cycling in agroecosystems**, Dordrecht, v. 61, n. 1-2, p. 119-130, 2001.

MIELNICZUK, J. **O potássio no solo**. Piracicaba: POTAFOS, 1978. 80 p. (POTAFOS. Boletim, 2).

MIGLIERINA, A. M.; GALANTINI, J. A.; IGLESIAS, J. O.; ROSELL, R. A.; GLAVE, A. Crop rotation and fertilization in production systems of the semi-arid region of Buenos Aires. **Revista de la Facultad de Agronomía**, Buenos Aires, v. 15, n.1, p.9-14, 1996.

OLIVEIRA, L. B.; RIBEIRO, M. R.; FERREIRA, M. G. V. X.; LIMA, J. F. W. F.; MARQUES, F. A. Inferências pedológicas ao perímetro irrigado de Custódia, PE. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 10, p.1477-1486, 2002.

PAIVA, M. P. Considerações sobre a política de açudagem no Nordeste do Brasil. **Boletim Cearense de Agronomia**, Fortaleza, v. 17, p. 7-17, 1976.

PIERI, C. Long-term soil management experiments in semi-arid Francophone Africa. In: LAL, R.; STEWART, B. A. (Ed.) **Soil management: experimental basis for sustainability and environmental quality**. Boca Raton: CRC: Lewis Publishers. 1995. p. 225-266.

PINHEIRO, J. C. V.; SHIROTA, R. Determinação do preço eficiente da água para irrigação no Projeto Curu – Paraipaba. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 31, n.1, p.36-47, 2000.

RAIJ, B. van. Capacidade de troca de frações orgânicas e minerais dos solos. **Bragantia**, Campinas, v. 28, p. 85-112, 1969.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Piracicaba: Ceres: Potafos, 1991. 343 p.

RAIJ, B. van; BATAGLIA, O. C. Análises de laboratório. In: OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAÚJO, J. D.; LOURENÇO, S. (Coord.) **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília, DF: EMBRAPA-SEA. 1991. p. 81-101. (EMBRAPA-SEA. Documentos, 3).

ROBERT, M. **Soil carbon sequestration for improved land management**. Rome: FAO, 2001. 58 p. (FAO. World Soil Resources Reports, 96).

SALCEDO, I. H.; TIESSEN, H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Nutrient availability in soil samples from shifting cultivation sites in the semi-arid Caatinga of NE Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 65, p.177-186, 1997.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H.; SILVA, F. B. R. Fertilidade de solos do semi-árido do Nordeste. In: PERREIRA, J. R.; FARIA, C. M. B. (Ed.). **Fertilizantes: insumos básicos para a agricultura e combate à fome**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA: SBCS, 1995. p. 51-71.

SANCHEZ, P. A. **Properties and management of soil in tropics**. New York: John Wiley, 1976. 619 p.

SANS, L. M. A. Avaliação da qualidade do solo. In: OLIVEIRA, T. S. O.; ASSIS JUNIOR, R., R. N.; ROMERO, R. E.; SILVA, J. R. C. (Ed.) **Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido**. Fortaleza: UFC; Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 224-232.

SAS INSTITUTE. **SAS user's guide: statistics version**. 6 ed. Cary: Statistical Analysis System Institute, 1990. 846 p.

SILVA, F. C. da; EIRA, P. A. da; BARRETO, W. de O.; PÉREZ, D. V.; SILVA, C. A. **Manual de métodos de análises químicas para avaliação da fertilidade do solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1998. 56 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 3).

SINGH, G.; GOMA, H. C. Long-term soil fertility management experiments in East Africa In: LAL, R.; STEWART, B. A. (Ed.). **Soil management: experimental basis for sustainability and environmental quality**. Boca Raton: CRC: Lewis Publishers, 1995. p. 347-384.

SISTI, C. P.J.; SANTOS, H. P.; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, M. B. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, p. 39-58, 2004.

TIESSEN, H.; CUEVAS, E.; CHACON, P. The role of soil organic matter in sustaining soil fertility. **Nature**, London, v. 371, n. 6500, p. 783-785, 1994.

TIESSEN, H.; FELLER, C.; SAMPAIO, E. V. S. B.; GARIN, P. Carbon sequestration and turnover in semiarid savannas and dry forest. **Climatic Change**, Amsterdam, v. 40, p. 105-117, 1998.