



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Brasil

Mattos Corrêa, Rossini; Galvão dos Santos Freire, Maria Betânia; Caraciolo Ferreira, Rinaldo Luiz;  
Freire, Fernando José; Medeiros Pessoa, Luiz Guilherme; Alves Miranda, Marcelo; Vandeval  
Maranhão de Melo, Diego

Atributos químicos de solos sob diferentes usos em perímetro irrigado no semiárido de Pernambuco  
Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 33, núm. 2, abril, 2009, pp. 305-314  
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo  
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214232008>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

## SEÇÃO II - QUÍMICA E MINERALOGIA DO SOLO

### ATRIBUTOS QUÍMICOS DE SOLOS SOB DIFERENTES USOS EM PERÍMETRO IRRIGADO NO SEMIÁRIDO DE PERNAMBUCO<sup>(1)</sup>

Rossini Mattos Corrêa<sup>(2)</sup>, Maria Betânia Galvão dos Santos Freire<sup>(3)</sup>, Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira<sup>(4)</sup>, Fernando José Freire<sup>(3)</sup>, Luiz Guilherme Medeiros Pessoa<sup>(5)</sup>, Marcelo Alves Miranda<sup>(6)</sup> & Diego Vandeval Maranhão de Melo<sup>(6)</sup>

#### RESUMO

Solos desenvolvidos em ambiente de clima semi-árido podem apresentar, naturalmente, acúmulo de sais que comprometem seu uso agrícola, o que pode ser incrementado pelo manejo inadequado da irrigação. Dependendo do uso, a degradação destes solos pode ocorrer com maior ou menor intensidade. Este trabalho teve como objetivo avaliar usos do solo utilizando atributos químicos em um perímetro irrigado na região semiárida do Nordeste do Brasil. Os usos do solo foram separados em áreas com culturas de ciclo curto (C), com fruticultura (F), com pastagem (P), áreas descartadas (D) e áreas com vegetação nativa (V). Coletaram-se amostras de solo deformadas nas camadas de 0-10, 10-30 e 30-60 cm, e indefornadas nas duas primeiras camadas para as determinações químicas e de densidade do solo, respectivamente. Os indicadores pH e condutividade elétrica do extrato de saturação, pH do solo, P disponível, C orgânico total,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$ , CTC, soma de bases (SB), percentagem de saturação por bases (V %), percentagem de Na trocável e estoque de C foram submetidos à análise multivariada, pela técnica de análise de componentes principais, e agrupamento pelo método Tocher. Os usos relacionados a sistemas produtivos apresentaram-se diferentes quanto à qualidade química do solo em relação aos atributos analisados do uso V; entre os usos relacionados a sistemas produtivos, C e D apresentaram qualidade química mais semelhante, o mesmo ocorrendo para os usos C e P. Em relação ao uso V, os usos C, D, P e F apresentaram, nas três camadas analisadas, maiores valores dos atributos pHs, pH do extrato de saturação, condutividade

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo (PPGCS), Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE. Recebido para publicação em junho de 2007 e aprovado em fevereiro de 2009.

<sup>(2)</sup> Doutor em Ciência do Solo do PPGCS, Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE. CEP 52171-900 Recife (PE). E-mail: rossinimc@hotmail.com

<sup>(3)</sup> Professor Adjunto do Departamento de Agronomia, UFRPE. E-mails: betania@depa.ufrpe.br, f.freire@depa.ufrpe.br

<sup>(4)</sup> Professor Adjunto do Departamento de Ciência Florestal, UFRPE. E-mail: rinaldo@dcfl.ufrpe.br

<sup>(5)</sup> Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, UFRPE. E-mail: pessoa.lgm@gmail.com

<sup>(6)</sup> Aluno de Graduação em Agronomia da UFRPE. E-mails: marcelo\_ufrpe@yahoo.com.br, diegoeari@yahoo.com.br

elétrica do extrato de saturação, Ca e Mg trocáveis, SB, V % e P disponível. Os usos F e P apresentaram o menor teor de C orgânico total. Os usos C, D e P apresentaram maiores valores de condutividade elétrica do extrato saturado em comparação com os usos F e V, indicando o início de um processo de salinização do solo, tornando suas utilizações agrícolas menos sustentáveis.

**Termos de indexação:** qualidade do solo, uso do solo, vegetação nativa.

**SUMMARY: SOIL CHEMICAL PROPERTIES UNDER DIFFERENT USES IN AN IRRIGATED AREA IN THE SEMI ARID REGION OF PERNAMBUCO, BRAZIL**

*Soils developed at semi-arid climate can present salt accumulation, which compromise the agricultural use, being increased by inadequate irrigation management. Based on the use, the degradation of these soils can occur at higher or smaller intensity. This study aimed to evaluate the effect of soil uses based on physical and chemical properties of an irrigated area in the semi-arid region of northeastern Brazil. The soil uses were annual crops (C), fruticulture (F), pasture (P), discarded lands (D), or native vegetation (V). Disturbed soil samples were collected from the 0–10, 10–30 and 30–60 cm layers for chemical analysis, and undisturbed samples from the first two layers for soil density analysis. The indicators pH and electrical conductivity of the saturation extract, soil pH, available phosphorus, total organic carbon, exchangeable cations, calcium, magnesium, potassium, and sodium, cation exchange capacity, sum of bases, base saturation percentage, percentage of exchangeable sodium, and carbon stocks were subjected to multivariate analysis by Principal Component Analysis, and clustering by the Tocher method. The soil chemical properties under production systems was different from V; the chemical quality of the production systems C and D, and that of C and P was similar. For the uses C, D, P, and F, the values of the soil properties (pH, pH and electrical conductivity of the saturation extract, exchangeable calcium and magnesium, sum of bases, base saturation and available phosphorus) was higher than for V in the three analyzed layers. The highest total organic carbon content was observed under F and P. The electrical conductivity of the saturation extract was higher under C, D and P than under F and V, indicating the beginning of a soil salinization process, thus characterizing them as less sustainable land uses.*

*Index terms:* soil quality, soil use, native vegetation.

## INTRODUÇÃO

Após a retirada da vegetação natural, o solo tem, frequentemente, mostrado alterações em seus atributos químicos, que são dependentes do clima, do tipo de cultura e das práticas culturais adotadas. A interação desses fatores estabelece uma nova condição de equilíbrio no sistema solo (Marchiori Júnior & Melo, 2000).

A variação dos atributos do solo na vegetação nativa é muito menor quando se compara com solos de usos agrícolas e por isso a vegetação nativa é um referencial para avaliação de solos incorporados a sistemas agrícolas. Nessa comparação, podem-se observar as alterações de atributos do solo após a utilização agrícola, bem como comparar os usos agrícolas, verificando-se qual apresenta maior sustentabilidade. As avaliações de usos agrícolas de solos utilizando-se atributos do solo como indicadores é um trabalho constante na avaliação de sistemas produtivos com o objetivo de adaptar sistemas ou propor usos do solo mais sustentáveis.

Nesse sentido, a degradação de solos pelo acúmulo de sais foi identificada por Chaves et al. (1998), que constataram a ocorrência de problemas de salinidade (CEes > 4 dS m<sup>-1</sup>) e sodicidade (PST > 8 %) em aproximadamente 19 e 52 %, respectivamente, em Vertissolos, solos Aluviais eutróficos (Neossolos Flúvicos eutróficos) e Podzólicos Vermelho-Amarelos eutróficos (Argissolos Vermelho-Amarelos eutróficos), totalizando 13.568 ha de área circunvizinha ao canal Coremas/Sousa, Estado da Paraíba. A prática da agricultura irrigada em regiões semiáridas é uma atividade de risco potencial para a qualidade do solo. Quando mal planejada, pode apresentar riscos de degradação de solos, incluindo a salinização e a sodificação.

Sampaio et al. (1995) apresentaram uma sistematização de dados referentes à fertilidade do solo na região semiárida do Nordeste brasileiro, a qual não incluiu dados referentes ao Estado do Maranhão. Os autores observaram que o P é um elemento limitante da prática da agricultura, devido aos baixos teores encontrados nos Estados Nordestinos de modo geral.

Ainda nesta sistematização, observou-se que os solos apresentam necessidade média de reposição de K, e baixa de calcário para atender a cultivos agrícolas.

Outro problema associado à degradação de solos é a redução nos teores de matéria orgânica, com efeito negativo principalmente sobre a CTC, disponibilidade de nutrientes, estabilidade de agregados e atividade microbiana (Bayer & Mielniczuk, 1999). A magnitude desta diminuição depende direta ou indiretamente do uso, os quais são importantes na definição dos teores de C do solo, conforme avaliado por Galvão et al. (2005), que observaram redução do teor de C orgânico total na seguinte sequência decrescente: pastagem > capineira > roçado. Na região semiárida, alguns autores (Tiessen et al., 1992, 1998; Fraga & Salcedo, 2004) observaram que a substituição da vegetação nativa, Caatinga, por culturas agrícolas ocasionou expressivo decréscimo: de 40 a 50 % nos teores de C do solo. Apesar dessas diferenças não serem detectadas em outros ambientes, como observado por Barreto et al. (2008) no sul da Bahia, quando a mata foi substituída pela cultura do cacau no sistema cabruca ou, mesmo, pela pastagem, as reduções verificadas em solos no semi-árido são expressivas.

Os atributos do solo podem variar com o uso conforme constatado por Su et al. (2004), que analisaram três usos do solo: cultivo de ciclo curto por três anos (CC), pastejo contínuo (PC) e pousio por cinco anos (P5). Esses autores observaram que os usos P5 e PC em comparação com o uso CC apresentaram maiores valores ( $p < 0,05$ ) das variáveis C orgânico total, P total e disponível e N disponível na camada de 0–2,5 cm.

As alterações provocadas pelos diferentes usos do solo na região semiárida, que apresenta características de solos e clima peculiares, devem ser estudadas para a proposição de modelos sustentáveis maximizando a produção e evitando degradação dos recursos naturais. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar usos do solo em um perímetro irrigado na região semiárida do Nordeste do Brasil, utilizando atributos químicos do solo por meio de análise multivariada.

## MATERIAL E MÉTODOS

O local do estudo foi o perímetro irrigado Icó-Mandantes, Bloco 3, situado no município de Petrolândia, Pernambuco, às margens do lago de Itaparica, parte do reassentamento realizado pela Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF). Em Petrolândia, encontram-se áreas de solos desenvolvidos de rochas sedimentares, basicamente arenitos e folhelhos calcíferos do Cretáceo. O clima da região do lago de Itaparica, segundo a classificação de Köppen, é caracterizado como BSw' h', clima semiárido com curta estação chuvosa (média anual de 460 mm), e a vegetação nativa da região é a Caatinga Hiperxerófila (Themag, 1986).

Todos os lotes do perímetro irrigado foram visitados para a identificação dos usos do solo. Nos lotes agrícolas, foram registrados a área de cada uso e informações adicionais como tipo(s) de cultura(s), sistema de irrigação, situação de produção do lote e, quando necessário, localização dos diferentes usos dentro do lote.

A CHESF, em suas ações, realizou avaliação de alguns lotes agrícolas quanto à viabilidade de produção, considerando aspectos como profundidade do solo e altura do lençol freático. Em alguns casos, os lotes foram considerados impróprios para o cultivo e descartados para uso agrícola. Estas áreas, denominadas de agora em diante de áreas descartadas, foram identificadas de acordo com os registros da CHESF, onde, para cada lote com área descartada, havia uma ficha de tradagem com a localização no lote desta área, o que permitiu no momento da visita a sua localização para identificação de uso. Adicionalmente, nas áreas circunvizinhas aos lotes, observou-se a presença de vegetação nativa de Caatinga. Essas áreas também foram identificadas no mapa para comporem o sistema de amostragem, servindo como referencial para comparação com os usos e as áreas descartadas.

Foi possível, então, classificar os usos em: (1) ciclo curto (C): áreas cultivadas com culturas anuais, sendo as mais representativas abóbora, melancia, coentro, milho e feijão, com a aplicação, de modo geral, uma aração e duas gradagens no preparo do solo, no início de cada cultivo, duas a três vezes ao ano, caracterizando este sistema como de grande movimentação de solo; (2) Fruticultura (F): áreas cultivadas predominantemente com bananeira, coqueiro, goiabeira e manga, movimentação do solo por aração e gradagem apenas na implantação das culturas, sem uso de máquinas nas operações de colheita e tratos fitossanitários; (3) Pastagem (P): áreas utilizadas como pastagem nativa continuamente, em alguns casos, e, em outros, entre períodos de cultivo de espécies de ciclo curto mais espaçados, apresentando movimentação do solo intermediária entre os usos C e F, em que, de modo geral, para a manutenção da pastagem, pratica-se uma superirrigação, com reduzido manejo da irrigação; (4) Área descartada (D): áreas identificadas pela CHESF, onde foi observada a presença dos usos descritos anteriormente, bem como de áreas abandonadas com regeneração de vegetação nativa. A particularidade dessas áreas é a classificação como áreas impróprias ao cultivo, o que constituiu o interesse de investigação, uma vez que problemas de degradação poderiam ser identificados nestas áreas em um grau avançado, o que possibilitaria uma análise comparativa com os outros usos; (5) Vegetação nativa (V): áreas originalmente de Caatinga, sem intervenção humana nem histórico de cultivo agrícola. Ressalta-se que os usos relacionados a sistemas agrícolas, ou seja, C, F, P e D, eram conduzidos com a prática da irrigação,

exceto o uso D, quando se observava a área sem cultivo e com sinais de regeneração da vegetação.

Após o levantamento dos usos na área, em 2006, utilizando-se o mapa de classificação dos solos do Perímetro Irrigado Icó-Mandantes, Bloco 3, foram selecionadas áreas para o estudo que apresentavam textura arenosa. Esses solos ocupam, aproximadamente, 50 % da área irrigada, sendo, portanto, mais representativos do perímetro. Esta medida visou ao estudo dos usos de solos de textura similar, uma vez que os usos provocam alterações diferentes em solos de textura diferente.

Com a definição da área total de cada uso nos solos de textura arenosa e considerando a hipótese de não homogeneidade dos atributos dos solos submetidos a diferentes usos, foi adotada amostragem aleatória estratificada (Meunier et al., 2001). A unidade de amostra foi definida com área de 0,5 ha, submúltiplo da área dos lotes (1,5, 3,0, 4,5 e 6,0 ha). Cada unidade amostral foi localizada no mapa e recebeu um código identificador para sorteio. As unidades selecionadas no sorteio tinham um ponto marcado no mapa onde se obtinham as coordenadas geográficas de cada ponto.

Para cada uso, foram coletadas amostras simples de solo em 15 pontos sorteados nas camadas de 0–10, 10–30 e 30–60 cm, constituindo as repetições por uso, totalizando 225 amostras. Em todos os pontos de amostragem, foi realizada uma tradição até, no máximo, 2,20 m ou profundidade inferior, quando havia a identificação de camada de impedimento à drenagem, sendo também realizada a coleta de amostras indeformadas nas camadas de 0–10 e de 10–30 cm para a determinação da densidade do solo. As amostras deformadas de solo foram secas ao ar, destorreadas e passadas em peneira de 2 mm de malha para as análises químicas.

Como parte da avaliação dos atributos químicos nas amostras de solo, foi preparada a pasta de saturação (Richards, 1954) para medida de pH (pHs) e condutividade elétrica do extrato de saturação (CEEs). No solo, foi medido o pH (pHs) em água (1:2,5); extraído o P disponível com Mehlich-1 (Embrapa, 1997) e dosado por colorimetria (Braga & Defelipo, 1974); determinado o C orgânico total (COT) pelo método Walkley-Black, descrito por Mendonça & Matos (2005); os cátions trocáveis Ca, Mg, K e Na foram extraídos com solução de acetato de amônio 1 mol L<sup>-1</sup> e determinados Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica e K e Na por fotometria de emissão de chama; e a CTC foi determinada pelo método do acetato de sódio e acetato de amônio 1 mol L<sup>-1</sup> (Richards, 1954). Com os resultados das análises químicas, foram calculadas a soma de bases (SB), a percentagem de saturação por bases (V %) e a percentagem de sódio trocável (PST), o estoque de C (EC) foi calculado a partir da expressão: EC = (COT × Ds × e)/10, em que EC é o estoque de COT em determinada profundidade (Mg ha<sup>-1</sup>); COT é o teor de C orgânico total (g kg<sup>-1</sup>); Ds é a densidade do

solô média da profundidade (kg dm<sup>-3</sup>); e é a espessura da camada considerada (cm).

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico com amostra indeformada (Embrapa, 1997), contudo seus resultados não foram apresentados neste estudo, sendo utilizados apenas para o cálculo do EC.

A análise de componentes principais foi utilizada para a avaliação das características dos solos nos conjuntos de atributos químicos, sendo um método de estatística multivariada que permite a redução de variáveis em casos em que ocorre multicolinearidade nas variáveis independentes e pode revelar relações que não são observadas previamente nos subconjuntos de variáveis, permitindo interpretações que, ordinariamente, não apareceriam (Souza, 2001). Adotou-se o mínimo de componentes principais, contanto que envolvessem, no mínimo, de 80 % da variação total (Cruz et al., 2004). Adicionalmente, consideraram-se tantos componentes principais quantos tivessem valor do coeficiente de correlação entre o componente principal e a variável acima de 0,7 em módulo. A análise de agrupamento pelo método Tocher, conforme Rao (1952), foi realizada a partir dos escores dos componentes principais retidos para interpretação de acordo com o critério adotado, aplicando-se como medida de dissimilaridade a distância euclidiana média.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As práticas agrícolas modificaram os atributos químicos dos solos incorporados aos sistemas produtivos, que, possivelmente, antes do início dos cultivos, apresentavam atributos químicos semelhantes ao uso V. Observou-se que os usos relacionados aos sistemas produtivos C, D, F e P apresentaram maiores teores de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, P e maiores valores de pHs, CEEs, SB e V em relação ao uso V (Quadro 1). Almeida et al. (2005) avaliaram o efeito de dois sistemas de manejo na modificação de atributos químicos de um Cambissolo Húmico alumínico leptico, em Lages (SC). Os teores de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e P e os valores de pH foram maiores nos sistemas agrícolas em comparação ao campo nativo. Estes resultados são semelhantes ao observados neste trabalho, onde a fertilidade do solo para estas variáveis foi melhorada, diferenciando sistemas de produção da vegetação nativa (Quadro 1).

Os valores médios de pHs na camada de 0–10 cm apresentaram-se para os usos relacionados a sistemas produtivos na faixa indicada para a maioria das culturas, variando de 6,00 a 6,73, observando-se valor inferior no uso V, coerente com solos sem histórico de utilização agrícola e aplicação de insumos (Quadro 1). Em profundidade, o pHs apresentou redução nos valores médios da camada 0–10 cm até a camada

30–60 cm, apresentando em todas as camadas o uso V o menor valor e os usos relacionados a sistemas produtivos com médias maiores e semelhantes entre si. Os valores de pHs, apesar de levemente superiores,

apresentaram variação semelhante à observada para o pHs por refletir as mesmas condições de reação do solo, só que numa avaliação do extrato de saturação das amostras (Quadro 1).

**Quadro 1. Média e desvio-padrão (s) de atributos químicos dos solos correspondentes aos usos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V)**

Atributo	Camada	Uso									
		C		D		F		P		V	
		Média	s								
cm											
pHs	0–10	6,01	0,62	6,31	0,64	6,73	0,66	6,27	0,57	5,15	0,69
	10–30	5,51	0,84	5,96	0,95	5,98	0,66	5,91	0,96	4,69	0,37
	30–60	4,98	0,81	5,57	0,79	5,27	0,81	5,53	1,20	4,66	0,41
pHes	0–10	6,75	0,48	7,28	0,58	7,10	0,64	6,79	0,59	5,58	1,04
	10–30	6,12	0,96	6,77	0,86	6,51	0,69	6,62	0,58	5,45	0,79
	30–60	6,04	0,92	6,80	0,88	5,84	0,93	6,38	1,00	5,42	0,71
CEEs (dS m <sup>-1</sup> )	0–10	0,91	0,85	0,80	0,79	0,38	0,11	0,76	0,51	0,23	0,11
	10–30	0,48	0,33	0,49	0,47	0,20	0,11	0,47	0,38	0,12	0,04
	30–60	0,45	0,43	0,40	0,22	0,21	0,17	0,34	0,17	0,10	0,05
Cálcio (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0–10	2,29	1,05	2,44	0,74	1,82	0,41	1,97	0,77	1,33	0,59
	10–30	2,12	0,96	3,16	1,80	1,42	0,49	1,93	1,30	1,18	0,43
	30–60	1,75	0,96	2,66	1,67	1,20	0,43	1,76	1,21	0,86	0,32
Magnésio (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0–10	0,34	0,23	0,38	0,13	0,24	0,05	0,24	0,14	0,12	0,08
	10–30	0,34	0,33	0,67	0,93	0,19	0,06	0,28	0,21	0,09	0,08
	30–60	0,32	0,43	0,62	0,56	0,13	0,04	0,26	0,27	0,07	0,07
Potássio (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0–10	0,28	0,16	0,43	0,16	0,14	0,09	0,28	0,19	0,23	0,07
	10–30	0,27	0,11	0,31	0,11	0,14	0,08	0,21	0,17	0,17	0,07
	30–60	0,22	0,12	0,23	0,15	0,16	0,10	0,24	0,13	0,15	0,04
Sódio (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0–10	0,05	0,09	0,08	0,07	0,03	0,04	0,09	0,11	0,07	0,16
	10–30	0,07	0,12	0,09	0,19	0,07	0,12	0,08	0,06	0,06	0,10
	30–60	0,08	0,13	0,09	0,14	0,09	0,09	0,06	0,05	0,04	0,04
CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0–10	3,06	2,43	3,32	1,47	2,08	0,59	2,16	1,35	2,78	1,08
	10–30	3,49	2,31	4,51	4,15	2,25	0,92	2,80	1,58	2,40	0,86
	30–60	4,02	2,87	4,48	3,35	2,73	1,30	3,88	2,68	1,95	0,60
PST (%)	0–10	0,98	1,28	2,52	2,47	1,22	2,24	5,61	11,61	1,87	3,28
	10–30	1,39	1,25	1,33	1,32	2,62	3,95	3,00	2,82	2,04	3,36
	30–60	1,93	2,34	1,33	1,17	3,38	3,94	1,91	1,41	1,96	1,96
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0–10	2,93	1,40	3,33	0,92	2,08	0,71	2,57	1,00	1,75	0,74
	10–30	2,77	1,41	4,23	2,78	1,82	0,54	2,50	1,47	1,50	0,45
	30–60	2,37	1,43	3,59	2,42	1,58	0,41	2,33	1,53	1,13	0,35
V (%)	0–10	91,06	12,53	89,23	16,54	93,15	10,88	94,98	7,77	64,43	22,44
	10–30	81,36	17,59	87,63	14,38	77,61	22,06	93,51	65,67	67,19	25,47
	30–60	64,27	21,93	76,27	22,60	63,73	24,24	64,82	24,58	62,41	26,50
Fósforo (mg dm <sup>-3</sup> )	0–10	42,08	22,64	39,68	28,07	28,52	25,39	35,18	27,24	7,40	2,69
	10–30	25,68	17,46	23,90	27,75	15,23	15,05	13,79	9,12	4,62	1,05
	30–60	7,31	4,04	13,20	15,15	5,92	2,89	9,72	8,53	4,10	0,94
COT (dag kg <sup>-1</sup> )	0–10	0,55	0,11	0,52	0,15	0,45	0,08	0,47	0,11	0,56	0,10
	10–30	0,33	0,09	0,38	0,15	0,29	0,05	0,31	0,10	0,41	0,13
	30–60	0,31	0,09	0,32	0,15	0,24	0,05	0,29	0,10	0,31	0,07
EC (Mg ha <sup>-1</sup> )	0–10	9,24	1,82	8,81	2,41	7,36	1,37	7,26	1,85	9,36	1,70
	10–30	11,54	3,75	13,87	5,42	9,98	1,98	10,63	3,65	13,82	5,02

pHs: pH do solo; pHs: pH do extrato da pasta saturada; CEes: condutividade elétrica do extrato da pasta saturada; CTC: capacidade de troca de cátions; PST: percentagem de sódio trocável; SB: soma de bases; V %: saturação por bases; COT: carbono orgânico total; EC: estoque de carbono.

Observou-se que os usos D, C e P apresentaram valores discretamente maiores de CEes em relação aos usos V e F. Apesar de os valores de CEes encontrados nos usos C, D e P não alcançarem o limite de 4 dS m<sup>-1</sup>, que classifica os solos como salinos (Richards, 1954), pelo curto período de tempo de operação do perímetro de oito anos e pelas peculiaridades de solos arenosos da área e da água de boa qualidade, que minimizam o risco de salinização de solos, observou-se que o processo de salinização já tinha se iniciado e poderia acarretar a queda da capacidade produtiva dos solos em questão. Para todos os casos, a CEes cresce em superfície, alcançando valores quatro vezes superiores nos solos sob o uso C em relação a V, indicando acúmulo de sais por ascensão capilar, muito comum em sistemas irrigados em ambientes sob clima semiárido. O uso F destacou-se entre aqueles relacionados a sistemas produtivos, apresentando o menor valor de CEes (Quadro 1), provavelmente devido ao manejo de irrigação neste uso, caracterizado pela aplicação localizada de água em menores quantidades.

O que neste estudo ainda não constituiu fator determinante da qualidade do solo dos usos C, D e P, poderá, com o aumento da CEes, comprometer a capacidade produtiva dos solos avaliados, conforme foi observado por Lima et al. (2001) em São Gonçalo/Baixada de Souza (PB), em que o manejo inadequado das terras e da irrigação foi responsável pela redução do rendimento das culturas e pela degradação dos solos por salinização, tendo sido constatado que aproximadamente 39,48 % da área estudada apresentava solos alterados por sais. Destaca-se o uso D, que, por apresentar uma profundidade do solo média de 1,11 m, oferece menor potencial para drenagem em relação aos demais usos, onde os valores médios de profundidade foram superiores a 1,80 m, o que poderia controlar a situação, facilitando a lixiviação de sais.

Observaram-se baixos valores de CTC nos solos estudados, que se justificam por se tratarem de solos arenosos e com baixo teor de matéria orgânica (Quadro 1). Apesar de não ter sido determinada pelo somatório dos cátions trocáveis, a CTC corresponde, aproximadamente, à soma de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup> dos solos, com predominância do primeiro. Não foram determinados os teores de Al trocável, pois em solos de clima semiárido este cátion não é expressivo, principalmente para valores de pH acima de 5,5, como os verificados neste estudo (Richards, 1954).

A SB dos usos D, C e P foi maior do que a observada nos usos F e V, que apresentaram valores aproximados (Quadro 1). As práticas de manejo mais intensas nos usos D, C e P provavelmente acarretaram a elevação da SB, tanto pela adição de fertilizantes quanto pela contribuição dos sais solúveis na solução do solo, o que é confirmado pelos valores mais elevados da CEes nestes usos em relação ao F e V. Em profundidade a SB diminuiu para os usos avaliados, exceto para o D

em que há uma elevação da SB em profundidade promovida pelo aumento nos teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> (Quadro 1). Como este uso é caracterizado por problemas de drenagem, verificados *in situ*, é possível que isto tenha contribuído para tais acréscimos de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> em subsuperfície.

Os baixos valores de CTC dos solos nos cinco usos estudados propiciaram que uma moderada quantidade de bases trocáveis correspondesse a uma elevada V % nos solos. Na camada de 0–10 e 10–30 cm, observou-se maior V % dos usos relacionados a sistemas agrícolas. Na camada de 30–60 cm, a V % foi próxima para todos os usos. O uso V apresentou valores semelhantes de V % em todas as camadas, mas ressalta-se que, apesar de o uso V ter apresentado V % inferior aos demais, alcançou valores superiores a 50 %, o que caracteriza os solos como eutróficos. Possivelmente, solos sob vegetação nativa, ao serem submetidos aos usos produtivos estudados, sofreram calagens e adubações que promoveram a elevação da V %.

Como critério adotado mundialmente para a classificação de solos sódicos, a avaliação da PST dos solos nos diversos usos poderia indicar a susceptibilidade desses à sodicidade. Considerando-se como limite o valor de 15 % de PST (Richards, 1954), os valores médios da PST para todos os usos nas camadas avaliadas foram baixos, não excedendo 3,5 %, destacando-se o uso P na camada de 0–10 cm, que apresentou 5,6 % de PST (Quadro 1). No entanto, dependendo do tipo de solo, este limite pode não ser adequado, pois valores de PST bem inferiores aos 15 % preconizados por Richards (1954) já foram suficientes para reduzir a condutividade hidráulica de solos, tornando-os inaptos para irrigação (Freire et al., 2003).

O teor de P foi alto nos usos relacionados a sistemas produtivos na camada de 0–10 cm, médio na camada de 10–30 e baixo na camada de 30–60 cm de acordo com IPA (1998). Os maiores teores foram observados nos usos C e D, teores intermediários nos usos F e P, enquanto a vegetação nativa apresentou os mais baixos teores de P em todas as camadas, por serem solos sem o fornecimento de fontes externas de nutrientes como nos demais (Quadro 1). Estes teores decresceram com a profundidade, comprovando o caráter pouco móvel do P, apesar de os solos serem de textura arenosa. Ressalta-se que, na camada de 30–60 cm, os valores de P observados nos usos relacionados a sistemas produtivos também se apresentaram superiores aos encontrados no uso V, exceto para o uso F (Quadro 1).

É provável que tenha ocorrido alguma movimentação deste elemento da camada superficial, onde normalmente ocorre a aplicação de fertilizantes, para as inferiores. O baixo teor de argila, que atua na fixação do P, e a movimentação de água no perfil do solo, devido à irrigação, possivelmente contribuíram para esta movimentação do elemento.

Os solos sob o uso V apresentaram os maiores valores médios de COT nas três camadas (Quadro 1) e semelhantes aos observados por alguns autores em região semiárida: 0,8 dag kg<sup>-1</sup> (Tiessen et al., 1998); 0,24 dag kg<sup>-1</sup> (Silva & Chaves, 2001); 0,48 dag kg<sup>-1</sup> (Su et al., 2004); 1,05 dag kg<sup>-1</sup> (Francelino et al., 2005); 0,4 dag kg<sup>-1</sup> (Chaves et al., 2006); 3,48 dag kg<sup>-1</sup> (Maia et al., 2006). Dentre os solos cultivados, os usos C e D apresentaram maiores teores de COT, enquanto os usos F e P apresentaram valores inferiores, resultado contrário ao esperado, uma vez que o manejo normalmente associado a esses usos apresenta menor revolvimento do solo por aração e gradagem, tornando o ambiente menos oxidativo e propício a um maior acúmulo de COT (Quadro 1).

Comparativamente ao uso V, os usos P e F apresentaram redução aproximada dos teores de COT de 19, 28 e 21 %, respectivamente, nas camadas de 0–10, 10–30 e 30–60 cm. Como os solos são arenosos, com boa aeração, foram pouco influenciados pelo acréscimo de aeração provocado pela aração e gradagem. Adicionalmente, todos os sistemas produtivos eram irrigados e, por isso, os fatores relacionados à decomposição da matéria orgânica foram semelhantes para os usos produtivos do solo. Desse modo, o teor de COT pode ter sido mais influenciado pela taxa de deposição, possivelmente maior nos usos C e D. O uso V, por não ser irrigado e apresentar baixa umidade do solo durante a maior parte do ano, apresentou reduzida taxa de decomposição de matéria orgânica, o que deve ter contribuído para que tenha apresentado os maiores teores de COT. Ressalta-se que a baixa profundidade média do uso D pode ter contribuído para a saturação por água das camadas superficiais desses solos, em especial na época das chuvas, normalmente de alta intensidade, o que tornou o ambiente menos oxidativo, permitindo maior acúmulo de COT nos solos.

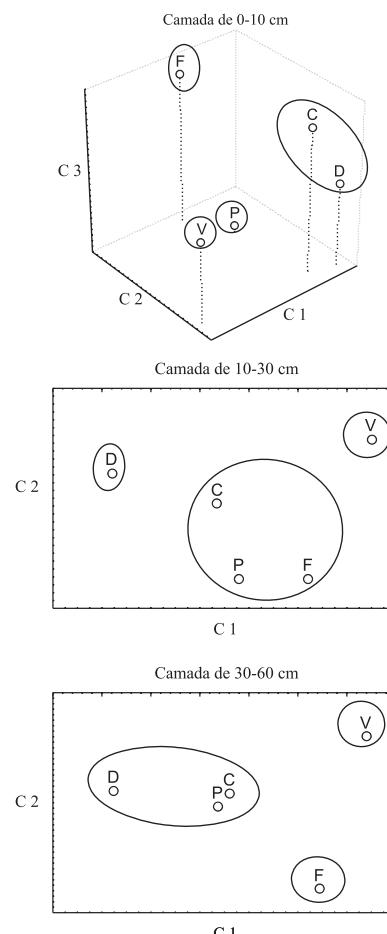
Costa et al. (2004) registraram, em experimento de longa duração em Guarapuava, Paraná, em um Latossolo Bruno submetido a cultivo convencional, um teor de COT de 3,4 dag kg<sup>-1</sup>, média das camadas de 0–5 e 5–10 cm. O clima ameno da Região Sul provavelmente proporcionou um ambiente favorável à manutenção do COT do solo. Neste estudo, encontrou-se valor médio de 0,55 dag kg<sup>-1</sup> para o uso C sob manejo convencional irrigado em região semiárida, demonstrando a fragilidade deste sistema.

Entre os atributos químicos analisados, destacou-se a CEEs, que apresentou para os usos C, D e P valores expressivamente maiores do que os observados para os usos F e V, indicando o início de um processo de salinização. Desse modo, os usos C, D e P apresentaram-se menos sustentáveis, devendo uma análise mais detalhada ser realizada para investigação dos fatores que estão causando este aumento de salinidade nos solos.

A descontinuidade da qualidade química entre os usos estudados em cada camada foi confirmada pela análise de agrupamento realizada a partir da análise

de componentes principais (Figura 1). Nesta análise, observaram-se de três a quatro grupos, caracterizando a diferença entre os usos em função dos atributos químicos. A análise de componentes principais dos atributos químicos para a camada de 0–10 cm reteve as três componentes principais (C1, C2 e C3) que, juntas, reuniram 96,69 % da variação total. Observando-se a análise de agrupamento, verificou-se que o uso V se diferenciou dos outros que sofreram influências nos seus atributos químicos em decorrência do uso do solo (Figura 1).

Os usos C e D apresentaram similaridades em seus atributos químicos. Nestes usos, o aumento nos valores de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, P, pHs, SB e V % (Quadro 1) foram mais expressivos e colaboraram para que fossem enquadrados em um grupo (Figura 1). Por fim, os usos F e P foram isolados em função de atributos químicos não semelhantes aos demais, com alterações



**Figura 1.** Dispersão dos atributos químicos por camada de solo em relação às componentes principais (C1, C2 e C3) agrupadas pelo método Tocher (círculos e elipses) para os usos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V).

menos intensas nos atributos químicos em relação aos usos C e D (Quadro 1 e Figura 1).

Fidalski et al. (2007), estudando a espacialização dos indicadores de qualidade de um Latossolo cultivado com citros, observaram que a fertilidade do solo estava concentrada na camada superficial, concordando com os resultados deste estudo, em que na camada de 0–10 cm foram verificados resultados mais elevados de pH, SB (exceto no uso D), fósforo e COT.

Na camada de 10–30 cm, 90,05 % da variação total foi explicada com as duas primeiras componentes principais (C1 e C2), retidas de acordo com os critérios adotados (Figura 1). A análise de agrupamento identificou que o uso D não apresentou qualidade de solo similar a nenhum outro uso avaliado, para os atributos químicos analisados. As alterações químicas no uso D foram consideráveis, isolando este uso dos demais sistemas produtivos e do uso V, enquanto os usos C, F e P formaram um grupo. Esses usos sofreram alterações menos intensas, mas suficientes para diferenciá-los do uso V, que constituiu um terceiro grupo de qualidade singular (Figura 1).

Outros autores também observaram alterações nos atributos químicos de solos incorporados a sistemas agrícolas. Perin et al. (2003) avaliaram amostras de perfis de um Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd) textura argilosa e de Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd) textura média, sob cobertura vegetal natural de floresta e em campo, respectivamente, e de perfis destes solos sob uso agrícola por períodos que variaram de oito até mais de 33 anos. Nutrientes como  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  tiveram incremento de seus teores no solo com o tempo de uso agrícola, associado à correção da acidez do solo, ao contrário do  $\text{Al}^{3+}$ , em que teor e saturação foram diminuídos em profundidade. Com o tempo de uso agrícola, os incrementos de P total foram evidentes nos horizontes superficiais, enquanto os incrementos de K total também ocorreram em profundidade. A melhoria dos atributos químicos relacionados à fertilidade do solo é um resultado semelhante ao observado neste trabalho para os usos inerentes a sistemas agrícolas (Quadro 1). A diferenciação entre o uso V e os usos agrícolas também foi observada (Figura 1).

A análise de componente principal aplicada às variáveis químicas da camada de 30–60 cm explicou 89,49 % da variação total em dois componentes principais (C1 e C2). A análise de agrupamento dos escores dos componentes principais 1 e 2 gerou três grupos: isolados apresentaram-se os usos V e F, e o outro grupo foi formado pelos usos C, P e D (Figura 1). Observou-se que as alterações nos atributos químicos atingiram todos os usos relacionados a sistemas produtivos, na camada de 30–60 cm, tornando-os diferentes em relação ao uso de vegetação nativa. A modificação dos atributos químicos foi similar para os usos C, P e D, que formaram um grupo na análise da camada de 30–60 cm. Provavelmente, os elementos químicos dos fertilizantes migraram da camada

superficial onde são normalmente aplicados para a camada de 30–60 cm, adicionalmente os sais da água de irrigação podem ter realizado o mesmo deslocamento, aumentando os teores dos elementos químicos nesta camada. O uso F possivelmente recebeu menor contribuição de fertilizante e da água de irrigação, não fazendo parte do grupo C, P e D, mas suficiente para diferenciá-lo do uso V.

Utilizando as mesmas ferramentas estatísticas para avaliar diferentes coberturas vegetais sobre os atributos químicos e microbianos de solos no norte do Estado do Rio de Janeiro, Gama-Rodrigues et al. (2008) concluíram que a pastagem apresentou potencial de manter os teores de COT e melhorar a fertilidade do solo em relação à capoeira, e que os índices microbianos, pelo método de Tocher, foram mais discriminantes que os atributos químicos em aferir a dissimilaridade entre as coberturas vegetais. Diferenças em relação neste estudo podem ser atribuídas ao ambiente em que cada área está localizada, pois o semiárido apresenta sérias limitações hídricas associadas a elevadas taxas de evapotranspiração, que o tornam um caso particular quando se pretende substituir a vegetação nativa por algum sistema de cultivo.

Reunindo-se o resultado da análise de agrupamento das três camadas para os atributos químicos analisados (Figura 1), observou-se que as alterações nestes atributos foram suficientes para diferenciar, em todas as camadas, os usos relacionados a sistemas produtivos em relação ao uso V, considerando-se que os usos relacionados a sistemas produtivos reuniam as características iniciais apresentadas pelo uso V agora modificadas. Isso vem comprovar a importância da adoção de técnicas apropriadas ao semiárido, para minimizar os problemas de degradação de solos em agroecossistemas irrigados no Nordeste do Brasil.

## CONCLUSÕES

1. Os usos relacionados a sistemas produtivos apresentaram-se diferentes quanto à qualidade química do solo, para os atributos analisados em V; entre os usos relacionados a sistemas produtivos, C e D apresentaram qualidade química mais semelhante e o mesmo ocorreu com C e P.

2. Em relação a V, os usos C, D, P e F apresentaram maiores valores nas três camadas analisadas dos atributos pH do solo, pH do extrato de saturação, condutividade elétrica do extrato de saturação, Ca e Mg trocáveis, soma de bases, saturação por bases e P disponível.

3. C, D e P apresentaram maiores valores de condutividade elétrica do extrato saturado em comparação com F e V, indicando o início do processo de salinização dos solos nos usos C, D e P, considerados menos sustentáveis.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão de recursos que possibilitaram a realização deste trabalho.

## LITERATURA CITADA

- ALMEIDA, J.A.; BERTOL, I.; LEITE, D.; AMARAL, A.J. & ZOLDAN JÚNIOR, W.A. Propriedades químicas de um Cambissolo Húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:437-445, 2005.
- BARRETO, A.C.; FREIRE, M.B.G.S.; NACIF, P.G.S.; ARAÚJO, Q.R.; FREIRE, F.J. & INÁCIO, E.S.B. Fracionamento físico e químico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1471-1478, 2008.
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Gênesis, 1999. p.9-26.
- BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. *R. Ceres*, 21:73-85, 1974.
- CHAVES, L.H.G.; MENINO, I.B.; ARAÚJO, I.A. & CHAVES, I.B. Avaliação da fertilidade dos solos das várzeas do município de Sousa, PB. *R. Bras. Eng. Agríc. Amb.*, 2:262-267, 1998.
- CHAVES, L.H.G.; CHAVES, I.B.; SILVA, P.C.M. & VASCONSELOS, A.C.F. Variabilidade de propriedades químicas do solo aluvial da Ilha de Picos, Pernambuco. *R. Biol. Ci. Terra*, 6:13-19, 2006.
- COSTA, F.S.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J.A. & FONTOURA, S.M.V. Aumento de matéria orgânica num Latossolo Bruno em plantio direto. *Ci. Rural*, 34:587-589, 2004.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. & CARNEIRO, P.C.S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 3.ed. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2004. 480p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Manual de métodos de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.
- FIDALSKI, J.; TORMENA, C.A. & SCAPIM, C.A. Espacialização vertical e horizontal dos indicadores de qualidade para um Latossolo Vermelho cultivado com citros. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:9-19, 2007.
- FRAGA, V.S. & SALCEDO, I.H. Declines of organic nutrient pools in tropical semi-arid soils under subsistence farming. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 68:215-224, 2004.
- FRANCELINO, M.R.; FERNANDES FILHO, E.I. & RESENDE, M. Elaboração de um sistema de classificação da capacidade de suporte em ambiente semiárido árido. *R. Bras. Eng. Agríc. Amb.*, 9:83-91, 2005.
- FREIRE, M.B.G.S.; RUIZ, H.A.; RIBEIRO, M.R.; FERREIRA, P.A.; ALVAREZ V., V.H. & FREIRE, F.J. Condutividade hidráulica de solos de Pernambuco em resposta à condutividade elétrica e RAS da água de irrigação. *R. Bras. Eng. Agríc. Amb.*, 7:45-52, 2003.
- GALVÃO, S.R.S.; SALCEDO, I.H. & SANTOS, A.C. Frações de carbono e nitrogênio em função da textura, do relevo e do uso do solo na microbacia do agreste em Vaca Brava (PB). *R. Bras. Ci. Solo*, 29:955-962, 2005.
- GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; PAULINO, G.M. & FRANCO, A.A. Atributos químicos e microbianos de solos sob diferentes coberturas vegetais no Norte do Estado do Rio de Janeiro. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1521-1530, 2008.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DE PERNAMBUCO – IPA. Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco (2º aproximação). Recife, 1998. 198p.
- LIMA, C.O.; BARBOSA, M.P.; LIMA, V.L.A. & SILVA, M.J. Uso de imagens TM/Landsat-5 e termometria na identificação e mapeamento de solos afetados por saís na região de Sousa, PB. *R. Bras. Eng. Agríc. Amb.*, 5:361-363, 2001.
- MAIA, S.M.F.; XAVIER, F.A.S.; OLIVEIRA, T.S.; MENDONÇA, E.S. & ARAÚJO FILHO, J.A. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semiárido cearense. *R. Árvore*, 30:837-848, 2006.
- MARCHIORI JÚNIOR, M. & MELO, W.J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. *Pesq. Agropec. Bras.*, 35:1177-1182, 2000.
- MENDONÇA, E.S. & MATOS, E.S. Matéria orgânica do solo: Métodos de análises. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2005. 107p.
- MEUNIER, I.M.J.; SILVA, J.A.A. & FERREIRA, R.L.C. Inventário florestal: Programas de estudo. Recife, Impressa Universitária da UFRPE, 2001. 189p.
- PERIN, E.; CERETTA, C.A. & KLAMT, E. Tempo de uso agrícola e propriedades químicas de dois Latossolos do planalto médio do Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:665-674, 2003.
- RAO, C.R. Advanced statistical methods in biometric research. New Delhi, John Wiley & Sons, 1952. 390p.
- RICHARDS, L.A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington, United States Department of Agriculture, 1954. 160p. (Agriculture Handbook, 60)
- SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H. & SILVA, F.B.R. Fertilidade de solos do semiárido do Nordeste. In: PEREIRA, J.R. & FARIA, C.M.B., eds. Fertilizantes: Insumos básicos para a agricultura e combate à fome. Petrolina, Embrapa, 1995. p.51-71.

- SILVA, P.C.M. & CHAVES, L.H.G. Avaliação e variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica em Alissolos. *R. Bras. Eng. Agríc. Amb.*, 5:431-436, 2001.
- SOUZA, G.S. Introdução aos modelos de regressão linear e não-linear. 2.ed. Brasília, Embrapa, 2001. 489p.
- SU, Y.Z.; ZHAO, H.L.; ZHANG, T.H. & ZHAO, X.Y. Soil properties following cultivation and non-grazing of a semi-arid sandy grassland in Northern China. *Soil Tillage Res.*, 75:27-36, 2004.
- THEMAG. Relatório de estudos edafoclimáticos dos projetos CHESF da Borda do Lago de Itaparica – margem esquerda. Recife, 1986. 214p.
- TIESSEN, H.; SALCEDO, I.H. & SAMPAIO, E.V.S.B. Nutrient and soil organic matter dynamics under shifting cultivation in semi-arid Northeastern Brazil. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 38:139-151, 1992.
- TIESSEN, H.; FELLER, C. & SAMPAIO, E.V.S.B. Carbon sequestration and turnover in semiarid savannas and dry forest. *Climatic Change*, 40:105-117, 1998.