

JOÃO PAULO SIQUEIRA DA SILVA

**FERTILIDADE DOS SOLOS E METAIS PESADOS EM CULTIVOS DE
MANGUEIRA EM PETROLINA (PE)**

**RECIFE - PE
SETEMBRO - 2010**

JOÃO PAULO SIQUEIRA DA SILVA

**FERTILIDADE DOS SOLOS E METAIS PESADOS EM CULTIVOS DE
MANGUEIRA EM PETROLINA (PE)**

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

Orientador: Prof. Dr. Clístenes Williams Araújo do Nascimento

Co-orientadores: Dr^a. Karina Patrícia Vieira da Cunha

Dr^a. Caroline Miranda Biondi

Dr. Davi José Silva

**RECIFE - PE
SETEMBRO - 2010**

Ficha catalográfica

S586f Silva, João Paulo Siqueira da
Fertilidade dos solos e metais pesados em cultivos de
mangueira em Petrolina (PE) / João Paulo Siqueira da Silva –
2010.

99 p. : il.

Orientador: Clístenes Williams Araújo do Nascimento
Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) –
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento
de Agronomia, Recife, 2010.

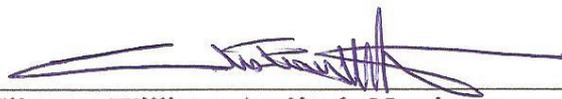
Referências.

1. Manejo de solo 2. Elementos traços 3. Valores
orientadores I. Nascimento, Clístenes Williams Araújo do,
orientador II. Título

CDD 631.42

JOÃO PAULO SIQUEIRA DA SILVA

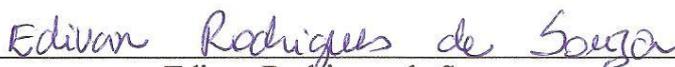
Dissertação intitulada: **FERTILIDADE DOS SOLOS E METAIS PESADOS EM CULTIVOS DE MANGUEIRA EM PETROLINA (PE)** apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como exigência para obtenção do título de Mestre, e aprovada em 17 de setembro de 2010.



Clístenes Williams Araújo do Nascimento
**PRESIDENTE DA BANCA EXAMINADORA
(ORIENTADOR)**



Karina Patrícia Vieira da Cunha
EXAMINADORA



Edivan Rodrigues de Souza
EXAMINADOR



Mário de Andrade Lira Júnior
EXAMINADOR

Ando devagar porque já tive pressa
 e levo esse sorriso, porque já chorei demais
 Hoje me sinto mais forte, mais feliz quem sabe
 eu só levo a certeza de que muito pouco eu sei, eu nada sei...

Penso que cumprir a vida seja simplesmente
 compreender a marcha, e ir tocando em frente
 como um velho boiadeiro levando a boiada,
 eu vou tocando os dias pela longa estrada eu vou,
 de estrada eu sou...

Todo mundo ama um dia todo mundo chora,
 Um dia a gente chega, no outro vai embora
 Cada um de nós compõe a sua história,
 e cada ser em si, carrega o dom de ser capaz,
 e ser feliz...

(Tocando em frente - Almir Sater/Renato Teixeira)

Graças Pai, hoje venho te dar e prostra-me aos Teus pés
 Somente para agradecer-te, somente para dar-te graças,
 pois não encontro outras palavras em meu ser.
 Graças Pai, sei que te fiz chorar por ser um mal-agradecido
 Por não haver te obedecido, mesmo assim me tens amado
 Não me tens abandonado, permaneces ao meu lado, venho agradecer.

Graças Pai por amar-me numa cruz,
 com amor incomparável em teu filho Jesus.
 Graças Pai por teu amor e tua bondade, tua força e amizade
 Por ser um Pai leal, sempre leal...

(Graças Pai - Pe. Fábio de Melo)

OFEREÇO

Com todo o meu amor e carinho aos meus pais Maria das Neves Siqueira e Espedito Pádua por acreditarem em mim e por todo apoio dado ao longo desses anos de estudo.

DEDICO

Às minhas irmãs Polyana e Ana Paula

Aos meus sobrinhos João Matheus e Maria Haydée

Ao meu primo Carlinhos

À minha namorada Adelazil.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, que me deu forças em todos os momentos da minha vida, principalmente por suportar as saudades da família.

Aos meus queridos pais Maria das Neves e Espedito Pádua, por todo amor, carinho e educação dados a mim e as minhas irmãs, por todo o esforço para que eu conseguisse estudar fora da minha cidade e apoio dado as minhas conquistas.

Às minhas irmãs Polyana e Ana Paula, que sempre me deram apoio em todos os momentos. Aos meus queridos sobrinhos João Matheus e Maria Haydée e meu primo Carlinhos, que nos enchem de alegria. Ao meu afilhado Diego. A minha namorada Adelazil, que esteve muito presente na minha vida nesses últimos anos, com todo amor e amizade. Aos tios, tias Eleuda, Euda e Socorro, primos, avós maternos Benedito Pantaleão (*in memorian*) e Tertulina (*in memorian*), avós paternos Pedro (*in memorian*) e Maria Luisa (*in memorian*), cunhados, sogros Ernesto e Lucidalva, enfim, toda minha família, por terem me dado grande força e sempre acreditado no meu potencial.

À UFRPE, em particular, ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade concedida para a realização do curso.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Professor orientador Clístenes Williams A. do Nascimento, que me concedeu a honra de ser seu orientado e pelo comprometimento e conhecimento compartilhado.

As co-orientadoras, Professoras Karina Patrícia V. da Cunha e Caroline Miranda Biondi, por terem ajudado muito nessa etapa final.

A todos os professores do PPGCS, por todos os conhecimentos compartilhados.

A todos que compõem o grupo de pesquisa em química ambiental do solo do laboratório de Fertilidade do Solo da UFRPE. Agenor, Márcio, Eriberto, Adelazil, Vinícius, Airon, Welka, Hailson, Josias, Bruno, Wildson, Fernando, Renato e Rayana, em especial aos estagiários Anderson, Wildson e Bruno Fernando, pelo auxílio nas análises.

A todos os amigos de turma da Pós-Graduação em Ciência do Solo/UFRPE, pela amizade, convivência e conhecimentos compartilhados. Thales, Altanys, Karen, Raiana, Leidvan, Cláudio, Karla, Priscila, Suzana, Patrícia, Alexandra, André, Rayssa, Érika, Israel, Fabiana, Raquel, Daniela, Cibelle e Jean.

Ao laboratório de Química do Solo, pelo auxílio na realização de algumas análises.

A todos os amigos da época da graduação, em especial a Cleocione, Mariana, Isabella, Valdemir, Jailson e Emmanuel.

A todos os funcionários, em especial a Socorro, por estar sempre disposta a ajudar.

Ao Pesquisador Davi José Silva, por todo apoio e suporte dado para selecionar as áreas de coleta dos solos.

As empresas agrícolas que concederam suas áreas de produção de manga para coleta de solo e folha.

A Zeca, Agenor, Francisco Costa (Cozão), Luiz, Danilo, pela valiosa ajuda nas coletas dos solos e das folhas das mangueiras.

Aos amigos Márcio, Francisco e Agenor, pelo companheirismo e diversão em todos os momentos.

A amiga Tathiana pela ajuda na preparação dos abstracts.

A todos os amigos de Ouricuri, em especial a Bruno pelos bons momentos de diversão.

A todos do Grupo Capoeira Brasil/Recife-PE, comandado pelo Professor Gavião, com o qual aprendi que capoeira não é apenas uma arte marcial, mas uma filosofia de vida.

A todos que indiretamente ou diretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Meu muito obrigado!!!

SUMÁRIO

	Página
AGRADECIMENTOS	vii
RESUMO GERAL	xi
INTRODUÇÃO GERAL	1
1. Fruticultura no Brasil e no Vale do São Francisco	1
2. Alterações nas propriedades químicas do solo em função do manejo	2
3. Contaminação do solo sob cultivo	7
4. Avaliação da contaminação do solo por metais pesados	10
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	14
CAPÍTULO I – ALTERAÇÕES NA FERTILIDADE DOS SOLOS E TEORES FOLIARES DE MACRONUTRIENTES EM CULTIVOS DE MANGUEIRA	
RESUMO	24
ABSTRACT	25
1. INTRODUÇÃO	26
2. MATERIAL E MÉTODOS	28
2.1. Local da coleta	28
2.2. Levantamento de informações	28
2.3. Amostragem	31
2.4. Análises químicas e físicas	33
2.5. Análises estatísticas	34
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
3.1. Atributos químicos do solo	35
3.2. Teores de nutrientes nas folhas	45
4. CONCLUSÕES	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
CAPÍTULO II – TEORES DE METAIS PESADOS EM SOLOS CULTIVADOS COM MANGUEIRA EM PETROLINA-PE	
RESUMO	56
ABSTRACT	57
1. INTRODUÇÃO	58
2. MATERIAL E MÉTODOS	60
2.1. Local da coleta	60

2.2. Amostragem	63
2.3. Abertura das amostras e determinação dos teores totais de metais em solo e planta	64
2.4. Análises estatísticas	66
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	67
3.1. Recuperação dos metais pesados em amostras certificadas pelo NIST	67
3.2. Cobre	67
3.3. Níquel	72
3.4. Chumbo	73
3.5. Manganês	74
3.6. Ferro	76
3.7. Zinco	77
3.8. Cromo	78
3.9. Teores de metais pesados em folhas de manga	80
4. CONCLUSÕES	83
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84

RESUMO GERAL

As modificações na fertilidade dos solos são em decorrência das elevadas produtividades adquiridas, devido a fatores manejados na fruticultura, com destaque para a irrigação, a fertilização e o controle químico. Todas essas práticas quando não aplicadas corretamente podem causar transtornos ao meio ambiente e ao homem, advindos do acúmulo de metais pesados, nutrientes e agroquímicos nos solos e seu carreamento aos mananciais. Neste cenário, estudos dos efeitos de práticas agrícolas sobre a qualidade do solo e a sustentabilidade do sistema são essenciais, especialmente em cultivos com elevado aporte de insumos, como no caso do plantio de manga em Petrolina-PE. Portanto, o objetivo deste trabalho foi analisar os teores de metais pesados em solos cultivados com mangueira, bem como as alterações na fertilidade dos solos em áreas com diferentes anos de cultivo. Foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm e de folhas da mangueira na fase vegetativa em áreas com 6, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 16, 17, 19 e 26 anos de cultivo. Áreas de vegetação nativa, adjacentes as áreas cultivadas, foram utilizadas para comparação. As propriedades químicas dos solos avaliadas foram: pH, Na, K, Ca, Mg e Al trocáveis, H+Al, P disponível, MO, SB, V, m, CTC total e CTC efetiva. Os macronutrientes avaliados nas folhas de manga foram: N, P, K, Ca e Mg. Foram determinados os teores totais de solo e planta, dos metais pesados Cu, Cr, Fe, Zn, Mn, Cd, Ni, e Pb. Os dados foram analisados por meio da aplicação do teste F à análise de variância, e por meio de análises de correlação e Teste de Tukey. Os macronutrientes supriram as exigências nutricionais da mangueira, com exceção do Ca e Mg, cujas concentrações foliares foram abaixo do ideal para a cultura. O cultivo de mangueira proporcionou acúmulo superficial dos metais Cu e Zn e redução dos teores de Ni, Pb, Mn, Cr e Fe, tanto em superfície como em subsuperfície. As áreas cultivadas apresentaram contaminação dos metais pesados Cu, Ni, Zn e Cr, devendo ser feitos monitoramentos nessas áreas para evitar impactos ambientais.

Palavras-chave: Manejo do solo, Fertilizantes minerais, Elementos traços, Valores Orientadores

INTRODUÇÃO GERAL

1. Fruticultura no Brasil e no Vale do São Francisco

A mangueira (*Mangifera indica* L.) se desenvolve bem em vários tipos de solos e tolera os de baixa fertilidade. Pelo fato do seu sistema radicular ser bastante desenvolvido, proporciona um maior volume de solo a ser explorado, satisfazendo as suas exigências nutricionais. Estudos relacionados às alterações na fertilidade do solo em cultivos de manga são de grande importância, para que se obtenham altas produtividades sem causar transtornos ao meio ambiente através da adição em demasia de agroquímicos (Guimarães, 1982; Fernandes e Nascimento, 2004).

A fruticultura brasileira, atualmente, é considerada uma das maiores do mundo, no que se refere à produção de frutas frescas e área cultivada (Souza Filho et al., 2000); é um dos segmentos da agricultura brasileira mais importante, respondendo com 25% do valor da produção agrícola nacional (Lacerda et al., 2004). Seu crescimento nos últimos anos é devido à disponibilidade de tecnologias, ao surgimento de novos mercados e a redução de barreiras comerciais (Pimentel, 2000).

Neste panorama, a região do Vale do São Francisco tem se destacado nacionalmente na produção de diversas frutas. A fruticultura no Vale do São Francisco tem apresentado um crescimento vertiginoso, com um aumento médio de 9 mil hectares ao ano. Para se ter uma idéia desse crescimento, atualmente, a área plantada atinge cerca de 100 mil hectares (CODEVASF, 2006). Os maiores plantios na região são das culturas da manga e de uva para mesa, as quais são altamente tecnificadas, com aporte intensivo de insumos agrícolas.

A mangicultura na região semiárida destaca-se no cenário nacional não apenas pela expansão da área cultivada e do volume de produção, mas, principalmente, pelos altos rendimentos alcançados e qualidade da manga produzida. Seguindo as tendências de consumo do mercado mundial de suprimento de frutas frescas, a região inclina-se, atualmente, para produção de manga de acordo com as normas de controle de segurança nos sistemas de produção preconizadas pelas legislações nacional e internacional (Silva & Correia, 2004).

Sendo o Vale do São Francisco responsável por cerca de 90 % das exportações brasileiras, a produção de manga tem se destacado na região, devido às condições favoráveis ao desenvolvimento da cultura e pelo aporte de tecnologias que favorecem a produção de

frutos com qualidade de exportação. O Submédio responde por cerca de 92% das exportações nacionais da fruta (Silva, 2008). Segundo a FAO (2009) o Brasil ocupou em 2007 a sétima posição mundial, com uma produção de manga de 1,5 milhão de toneladas produzidas em uma área de 90 mil hectares. A expectativa da safra de manga 2009/2010 no Vale do São Francisco é de 78,9 mil toneladas (Seagri, 2010).

2. Alterações na fertilidade dos solos em função do manejo

Alterações na fertilidade dos solos da região Nordeste decorrentes do cultivo têm sido pouco estudadas, sendo que tais pesquisas são importantes na melhoria da fertilidade do solo, aumento da produtividade, aumento da eficiência de uso da água e também para preservar a qualidade do solo (Sampaio, 1995). Devido à escassez de informações a respeito do estado nutricional da mangueira, bem como sobre a relação da fertilidade do solo e a composição mineral de folhas e frutos, se faz necessário realizar análises químicas de planta e solo, como uma medida útil para avaliar a disponibilidade de nutrientes (Lopes & Carvalho, 1991).

Os nutrientes no cultivo de manga são requeridos na seguinte ordem: N>K>P>Ca>Mg>Mn>S>Zn>Cu>Fe>B. No entanto, os nutrientes exportados pelos frutos (casca, polpa e semente) seguem uma ordem diferenciada: K>N>Ca>Mg>P=S>Fe>Cu>Zn>Mn>B (Dalto, 2005). Sendo o potássio e o nitrogênio os mais exportados. Em relação a sequência de absorção de nutrientes, estudos mostram que o N, K e P são mais absorvidos antes do período de floração, decaindo nas fases posteriores, sendo, portanto o período de floração uma fase crítica no ciclo produtivo da cultura (Magalhães & Borges, 2000).

Na maioria das vezes, a retirada da vegetação natural e implantação de culturas agrícolas, acompanhadas da aplicação de fertilizantes e agroquímicos, provocam alterações nas propriedades químicas dos solos, que são influenciadas pelo tipo de solo, fertilidade inicial, cultura implantada e o manejo utilizado. De acordo com Canellas et al. (2003), a substituição da mata nativa por sistemas de cultivo provoca variações difíceis de quantificar no ciclo dos elementos, provocando diminuição da fertilidade do solo. Essas modificações podem provocar uma melhoria nas propriedades do solo, como também acelerar sua degradação, dependendo, principalmente, da natureza do solo, da espécie vegetal, do sistema de manejo usado e do tempo de exploração agrícola (Pereira et al., 2000). Segundo Corrêa et

al. (2001), a degradação de um solo pode ser provocada pelo esgotamento da fertilidade, com a realização continuada de cultivos e queimadas sucessivas, erosão acelerada, contaminação por fertilizantes e/ou pesticidas, compactação ou salinização.

Para saber se ocorrem alterações nas propriedades químicas do solo, decorrentes do cultivo, deveriam ser feitos experimentos submetendo um solo, sob vegetação natural, às explorações agrícolas e analisando suas propriedades periodicamente (Sanchez, 1976). Porém, o tempo necessário para a realização desse tipo de experimento é muito limitante. A comparação entre áreas cultivadas e vegetação nativa, num mesmo solo, é uma alternativa viável para fazer estimativas mais apropriadas das alterações nas propriedades do solo. A mudança dos atributos químicos do solo na vegetação nativa ao longo do tempo é muito menor quando se compara com solos de usos agrícolas e por isso a vegetação nativa é um referencial para avaliação da qualidade 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 da qualidade de solos sob diferentes usos agrícolas utilizando-se atributos do solo como indicadores de qualidade têm sido bastante utilizados visando adaptar sistemas ou propor usos dos solos mais sustentáveis (Sanchez et al., 1999; Corrêa et al., 2009).

As modificações na fertilidade dos solos são em decorrência das elevadas produtividades adquiridas, devido a fatores manejados na fruticultura, com destaque para a irrigação, a fertilização e o controle químico. Todas essas práticas quando não aplicadas corretamente podem causar transtornos ao meio ambiente e ao homem. Os solos do Vale do Submédio São Francisco são, geralmente, arenosos, com baixa capacidade de retenção de nutrientes e, por se localizarem numa região semi-árida, são muito pobres em matéria orgânica, razão pela qual são deficientes em N, tornando-se limitante para produção agrícola (FAO, 1966; Faria et al., 2004). Além disso, a disponibilidade de fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo, como o esterco de curral, é muito pequena, devido à ausência de pecuária expressiva na região (Faria et al., 2004). A mangicultura é muito exigente em insumos agrícolas, principalmente no uso de fertilizantes minerais e defensivos químicos.

Os intensos revolvimentos do solo e aplicação de resíduos culturais e insumos agrícolas promovem modificações nos teores de matéria orgânica (MO), na capacidade de troca de cátions (CTC), no pH, na dinâmica dos íons e na agregação do solo. Estas modificações tornam-se mais evidentes conforme aumenta o tempo de uso da área (Falleiro et

al., 2003). Pouca pesquisa tem sido desenvolvida com experimentos em longo prazo, sobre as influências nas propriedades do solo. Porém, cultivo intensivo, em longo prazo, pode causar considerável mudança nessas propriedades, principalmente por adições de fertilizantes e pesticidas (Costa, 2009).

O manejo dado aos solos, pode causar alterações na reação do solo, que é expressa pelo pH, através das condições de acidez e alcalinidade do solo. Um dos grandes problemas que afetam o desenvolvimento da maioria das culturas é a acidez do solo, tendo como conseqüências a redução da capacidade de troca de cátions (CTC) e os teores de cátions básicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+), o aumento da solubilidade dos elementos potencialmente tóxicos (H, Al e Mn) e os efeitos negativos nos ciclos biogeoquímicos dos nutrientes (N, P, S) (Pavan, 1997). A acidez do solo quando em excesso, pode provocar alterações na fertilidade, restringindo o crescimento radicular das plantas, de tal forma que dificulta a absorção de água e nutrientes.

A adição de água acelera o processo de acidificação do solo, não só pela lixiviação de cátions de reação básica (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+), mas também pela intensificação do uso, promovendo a remoção desses cátions pelas culturas (Wiethölted, 1997). A adição de fertilizantes nitrogenados, principalmente os amoniacais, também contribui para a acidificação do solo, devido ao processo de nitrificação do amônio, que gera íons H^+ . A correção química do solo é uma prática bastante utilizada atualmente para melhorar a acidez, principalmente através da calagem, que é a prática mais eficiente, a qual visa elevar o pH, os teores de Ca, Mg e a saturação por bases, aumentar a atividade microbiana do solo, alterar a disponibilidade de micronutrientes e reduzir os teores de Al e Mn trocáveis no solo (Caires, et. al. 2002).

A CTC tem grande importância agrícola e ambiental, por estar ligada aos processos de retenção das bases trocáveis no solo. Pode ser influenciada por diversos fatores como classe textural, tipo de argilominerais (1:1 e 2:1), teor de matéria orgânica e pH do solo (Brady, 1989). Os solos arenosos tendem a ter menor CTC do que os argilosos, e solos com predominância de argilas silicatadas tendem a apresentar maior CTC do que os com predominância de óxidos de ferro e alumínio, isso porque esses minerais apresentam cargas dependente de pH e normalmente na faixa de pH em que a maioria dos solos se encontram (5,0-7,0), nos óxidos de ferro e alumínio predominam as cargas positivas, que repelem os cátions básicos (Boudot et al., 1986; Sposito, 1989).

A determinação da CTC do solo tem sido bastante utilizada como parâmetro de avaliação do efeito do manejo do solo e de práticas culturais (Costa et al. 1999). A CTC dos solos sob cultivo contínuo geralmente decresce com o tempo por causa da diminuição da matéria orgânica na superfície (Sanchez et al., 1983; Cerri et al., 1991). Esses autores também observaram que a lixiviação dos cátions trocáveis em solos cultivados, acarretou um aumento relativo da CTC em profundidade. Costa (2009) constatou, em solos arenosos com videira, que o cultivo ocasionou elevação da CTC e dos teores de Ca e Mg trocáveis, devido, principalmente, a calagem.

Os nutrientes têm grande importância para o desenvolvimento de uma cultura, para tanto, é necessário que haja disponibilidade em proporções adequadas na solução do solo. O pH dos solos é um dos principais fatores que influenciam a disponibilidade de micronutrientes para plantas, uma vez que, com a redução do pH não apenas ocorre acréscimo do teor de micronutrientes disponíveis mas, também, a densidade de sítios de adsorção para os cátions diminui, o que aumenta, sem dúvida, a disponibilidade dos micronutrientes; por outro lado, o efeito da calagem no aumento da disponibilidade do micronutriente acontece sobretudo pelo aumento da capacidade de troca catiônica, que ocorre com a variação do pH (Chlopecka & Adriano, 1996). A disponibilidade dos micronutrientes é reduzida em valores de pH ao redor de 6,5 a 7 (Alloway, 2008); a mobilidade no solo da maioria desses elementos diminui com o aumento do pH para valores próximos à neutralidade, em virtude da precipitação de formas insolúveis, como hidróxidos, carbonatos e complexos orgânicos (Nachtigall et al., 2008).

Os micronutrientes, apesar de requeridos em doses baixas, são muito importantes. A deficiência de um micronutriente nas plantas pode desorganizar os processos metabólicos e causar a deficiência de um macronutriente (Embrapa, 1996). A carência de micronutrientes tem sido relacionada a diversos fatores, como a baixa fertilidade de alguns solos, a maior remoção de nutrientes pelas colheitas, aplicação de fertilizantes fosfatados e baixos teores de matéria orgânica (Consolini & Coutinho, 2004).

Para suprir os elementos retirados pelas culturas, se faz a prática da fertilização, a qual muitas vezes é aplicada em grandes áreas, consideradas homogêneas, mas que na realidade não representa bem a real necessidade de nutrientes em todo o campo, o que pode causar muitas vezes a desuniformidade da lavoura, tendo como consequência um desbalanço no uso de fertilizantes, comprometendo o rendimento das lavouras e tornando alto o custo de produção (Cavalcante et al., 2007; Tschiedel & Ferreira, 2002). Nessas condições podem

ocorrer menor produção da área e maior impacto ambiental (Machado et al., 2007).

O uso de insumos químicos agrícolas tem sido identificado como o principal fator de contaminação da água e do solo (Bhatti et al., 1991). As aplicações convencionais de fertilizantes e defensivos significam aplicações excessivas em algumas áreas de campo e insuficiente em outras, pois uma área nunca é totalmente uniforme, por menor que seja (Cavalcante et al., 2007).

Outra forma que também causa impactos ambientais, e que vem ocorrendo bastante é a aplicação de fertilizantes sem a real recomendação adequada e sem a compreensão de como esses fertilizantes podem afetar, em longo prazo, as propriedades do solo, podendo muitas vezes esses elementos estar saturando a sua capacidade de retenção, facilitando seu deslocamento com a água que sai do sistema, atingindo as vias de drenagem e serem carregados para rios e mananciais, causando poluições severas, como por exemplo, a eutrofização das águas (Darilek et al., 2009). O fósforo é um dos elementos freqüentemente citados pelos estudos de impacto ambiental, pois, o enriquecimento de fósforo na água favorece a eutrofização e o crescimento excessivo de algas, potencialmente tóxicas (Pellegrini, 2005; Lima, 2005).

A importância da matéria orgânica em relação às características químicas, físicas e biológicas do solo é amplamente reconhecida. Na construção e manutenção da fertilidade do solo, é fundamental, uma vez que influencia inúmeras características, dentre elas: elevação da CTC, devido ao seu baixo ponto de carga zero (PCZ), que favorece o incremento de cargas negativas; liberação lenta de P, N, S e água, através do fornecimento de C para os microrganismos, que então completam os ciclos biogeoquímicos; aumento da disponibilidade dos micronutrientes, com a formação de quelatos; aumento de retenção d'água; redução da toxidez causada por pesticidas; melhoria da estrutura, que favorece a aeração; favorecimento do controle biológico, com maior população microbiana e melhoria da capacidade tampão do solo (Raij, 1991).

Geralmente a perda de matéria orgânica é devido à exposição do solo, que favorece a aceleração da taxa de decomposição e uma possível erosão (Bowman et al., 1990). Mudanças marcantes são observadas na matéria orgânica do solo como consequência da alteração no tipo de uso do solo, ocorrendo uma diminuição nos valores anuais de adição de carbono orgânico ao solo devido ao cultivo, o que, aliado às altas taxas de decomposição de matéria orgânica do solo causam um empobrecimento do seu teor, antes em equilíbrio com a

vegetação nativa (Fernandes et al., 2002). Um fator que contribui para isso é a textura do solo, sendo que solos arenosos apresentam índices menores de perda de carbono orgânico (Mann, 1986) ou até mesmo algum ganho em relação aos valores iniciais, após algum tempo de cultivo (Moraes, 1991). Segundo Silva et al. (2007) a estabilidade da matéria orgânica é fundamental para que se tenha reserva de nutrientes no solo.

Devido ao aumento da população humana e a demanda por melhoria da qualidade de vida tem-se pressionado a produção crescente de alimentos e de fontes alternativas de energia de origem vegetal em substituição ao petróleo. Para tanto, está ocorrendo um progresso na agricultura, a qual está levando à excessiva utilização dos recursos naturais não renováveis e a poluição ambiental (Lana, 2009).

3. Contaminação do solo sob cultivo

A agricultura vem provocando diversos impactos ambientais que resultam em contaminação por nutrientes, sais e agrotóxicos que percolam e escoam através dos campos cultivados até os recursos hídricos (Berti, 2003), podendo também acumular nos solos. O uso excessivo de fertilizantes pode contribuir para a contaminação do solo e dos cursos d'água com nitrato (Angus, 1995; Bumb, 1995), acidificação do solo (Helyar & Potter, 1989) e emissões de dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O) e amônia para a atmosfera.

Diferentes substâncias e elementos podem contaminar o solo, dentre estes, os metais pesados. Por metal pesado, compreende-se que é o elemento, cuja densidade atômica é maior que 6 g cm⁻³ (Alloway, 1990). Alguns desses metais são considerados essenciais (Fe, Mn, Ni, Zn, Cu e Mo) para as plantas, quando em concentrações ideais, por atenderem aos critérios de essencialidade. Os outros metais como, Pb, Cd, Hg, e Cr por não serem essenciais podem causar efeitos maléficos às plantas, mesmo em baixas concentrações (Punz & Sieghardt, 1993).

Os metais pesados se encontram distribuídos por toda a natureza, representando cerca de 1% da crosta terrestre. Nos solos, os metais são originários da rocha de origem e de outras fontes adicionadas ao solo, como: precipitação atmosférica, cinzas, calcário, fertilizantes químicos e adubos orgânicos (esterco de animais, lixo domiciliar, biossólidos, etc.).

Os metais pesados que estão presentes no solo, além de fazerem parte do material de origem, também estão precipitados com outros compostos (carbonatos e fosfatos, por

exemplo), adsorvidos em sítios de troca (óxidos ou hidróxidos de ferro e alumínio, minerais de argila silicatadas e matéria orgânica), formando quelatos insolúveis com ligantes orgânicos ou organominerais, dissolvidos na solução do solo ou incorporados em microrganismos, plantas ou animais (Schmitt & Sticher, 1991). As interações com a fase sólida são bastante complexas, envolvendo reações de adsorção/dessorção, precipitação/dissolução, complexação e oxirredução, tanto com a fase inorgânica quanto com a orgânica (Oliveira, 1998).

A mobilidade, atividade e biodisponibilidade desses elementos dependem de vários fatores, como: pH, temperatura, potencial redox, CTC, competição com outros metais, ligação com ânions e a composição e força iônica da solução do solo. Vários autores consideram ainda que a mobilidade dos metais pesados seja também influenciada pela superfície específica, textura, densidade aparente, a quantidade de matéria orgânica, o tipo e quantidade de minerais de argila, além do tipo e da quantidade de metais (Oliveira, 1998).

A CTC é um indicativo potencial do solo na adsorção de metais pesados, porém, devem ser levados em consideração outros fatores como a seletividade do metal, concentração de outros cátions, pH e atividade iônica da solução (Ross, 1994).

Os metais nas formas solúveis, dissolvidos na solução do solo, ou nas formas trocáveis, adsorvidos eletrostaticamente às cargas do solo, oferecem amplo potencial de poluição ambiental e estão prontamente disponíveis às plantas e microrganismos. Os metais adsorvidos por ligações covalentes nos sítios específicos, onde a reação envolve alta energia de ligação, têm liberação menor, quando se compara com a forma trocável. Os metais precipitados que formam quelatos pouco solúveis com a matéria orgânica não estão disponíveis, mas podem passar para a solução do solo pela mineralização dos ligantes orgânicos ou por mudanças no pH ou do potencial redox (Zanello, 2006). Os metais que estão presos aos silicatos não são disponíveis, pois, estão incorporados a rede cristalina dos minerais primários ou secundários. Essa distribuição das espécies químicas deve sempre ser levada em conta na avaliação da biodisponibilidade e do potencial de contaminação do ambiente por esses metais (Alloway, 1993).

A mobilidade de metais nos solos também é afetada pela interação com os outros cátions presentes no solo. Como relatado por Zhu & Alva (1993) ao observarem que, em solos neutros ou alcalinos, o transporte de Cu e Zn para camadas mais profundas do solo foi relativamente baixo, porém como de K_2SO_4 houve aumento do transporte daqueles metais, enquanto que ao usar $CaSO_4$ e $MgSO_4$ minimizou o transporte de C orgânico dissolvido e,

conseqüentemente, de metais complexados por ligantes orgânicos.

De acordo com Lima (2002), a distribuição de metais no solo e as características do sistema radicular influem na absorção de metais. A quantidade de metal absorvida depende da biodisponibilidade do metal, área de concentração no solo, profundidade e distribuição do sistema radicular.

O conhecimento sobre as interações entre as plantas e os metais pesados é muito importante não apenas para a segurança do meio ambiente, mas também para reduzir os riscos associados com a introdução desses elementos na cadeia alimentar (Benavides et al., 2005). Com relação à entrada dos metais pesados na cadeia alimentar, Cardoso & Chasin (2001) afirmam que as plantas podem funcionar tanto como um mecanismo de transferência de contaminantes do solo para níveis mais altos da cadeia trófica, quanto como uma importante barreira nessa transferência, restringindo a absorção da maioria dos elementos do solo.

Jeevan Rao & Shantaran (1996) observaram que a absorção de metais pesados pelas plantas, normalmente acontece abaixo dos níveis que causam manifestação de sintomas de toxicidade e baixa produtividade da cultura. No entanto, poderá interferir na qualidade dos alimentos, conforme foi verificado por Soares et al. (2002).

Os fertilizantes, corretivos e defensivos são considerados os principais contaminantes quando se trata da adição de metais pesados aos solos, pois os mesmos não são totalmente purificados durante o processo de manufatura, permanecendo os metais pesados como impurezas. Esses metais, freqüentemente, também fazem parte dos componentes ativos de pesticidas, sendo que o uso de sais de Zn, arsenatos de Cu e de Pb e compostos metalo-orgânicos têm elevado os níveis de contaminação do solo com esses elementos (Tiller, 1989). Desse modo, pode-se considerar que a adição de metais nos solos agrícolas é causada pelo uso repetitivo e excessivo de fertilizantes e pesticidas (Núñez et al., 2006).

Os fertilizantes minerais e orgânicos, bem como os corretivos de solo contêm Zn, frequentemente como impureza (Kiekens, 1990). As concentrações de Zn em fertilizantes fosfatados variam de 50-1450 mg kg⁻¹ e em pedras calcárias, de 10-450 mg kg⁻¹ (Ramalho et al., 2000). Os fertilizantes fosfatados que contêm metais pesados são dependentes do tipo de rocha fosfatada usada como material de origem. Segundo Camargo et al. (2000), normalmente as principais rochas fosfatadas brasileiras possuem pouca concentração de metais pesados. Por esse motivo, os fertilizantes fosfatados solúveis originários dessas fontes apresentam concentrações de Cd variando de 5,1 a 9,4 mg kg⁻¹ (Prochnow et al., 2001). Baixas

concentrações de Pb, que variam de 5,7 a 9,9 mg kg⁻¹ foram também encontrados em superfosfatos por McBride & Spiers (2001).

4. Avaliação da contaminação do solo por metais pesados

Os problemas decorridos em função do excesso de metais pesados são em função da concentração e das formas químicas em que se apresentam nos solos, assim sendo, o teor total no solo não é um bom parâmetro para prever a biodisponibilidade (Kumpiene et al., 2007). A concentração total é apenas o ponto de partida dos estudos, essa informação não permite identificar se os elementos tóxicos em estudo têm origem natural ou antrópica e muito menos sobre mobilidade ou biodisponibilidade (Ishikawa et al., 2009). Porém, é uma determinação que visa dados em relação ao acúmulo destes elementos, em decorrência do tempo, tendo como causa principal as práticas agrícolas (Ramos, 2006).

O cobre (Cu), dentre todos os metais, em áreas cultivadas com manga, é o que apresenta maior acumulação nos solos em virtude da ação antropogênica, visto que nessas culturas é intenso o uso de fungicidas cúpricos. Os valores de prevenção e intervenção agrícola de Cu, conforme o CONAMA (2009), são equivalentes a 60 e 200 mg kg⁻¹, respectivamente. Práticas de adubação e utilização de produtos químicos para combate de pragas e doenças, algumas vezes baseadas apenas em orientações empíricas, sem o conhecimento das reais condições do solo e das plantas, podem promover desequilíbrios nutricionais, bem como estresse às plantas, o que acarreta queda na produção e qualidade dos frutos, bem como contaminação dos solos (Tecchio et al., 2006). Cu é um elemento de pouca mobilidade nos solos, o que leva a acumular-se nas camadas superficiais. No entanto, solos ácidos com baixo teor de matéria orgânica podem ser uma exceção. Sendo notável o papel da matéria orgânica na mobilização do Cu no solo, especialmente devido à afinidade do elemento por compostos orgânicos, formando complexos solúveis e insolúveis. O cobre se fixa à matéria orgânica, por adsorção específica, no horizonte superficial, através da complexação do elemento pelos ácidos húmicos e fúlvicos que permitem, pela sua presença, a retenção do cobre nos solos (Felix, 2005). Em baixas concentrações de Cu na solução do solo, este será imobilizado principalmente pelos ácidos húmicos, mas à medida que os sítios de ligação vão sendo saturados, uma quantidade maior de cobre será solubilizada pelos ácidos fúlvicos ou por compostos orgânicos mais simples (McBride, 1989).

É de grande relevância a interação do Cu com outros nutrientes como K, Zn, N e P, alterando sua disponibilidade. Entre estas interações, a que exerce com o P é uma das mais importantes (Abreu et al., 2001). Íons de fosfato podem interferir na solubilidade dos elementos metálicos, formando precipitados pouco solúveis e diminuindo a concentração de íons em solução. Outra característica importante do Cu é que o mesmo está mais fortemente ligado à matéria orgânica que outros cátions micronutrientes como o Zn e o Mn (Camargo et al., 2001). O teor de cobre na solução do solo é reduzido com o aumento do pH devido à forte adsorção do cobre, e à precipitação. Em pH 6,5 o Cu^{2+} é a espécie dominante na solução do solo, entretanto em pH 7,0 a espécie predominante é $\text{Cu}(\text{OH})_2$ (Bahaminyakamwe et al., 2006).

A utilização de produtos a base de Cu por longo tempo pode conduzir à acumulação de metais nos solos intensivamente manejados com fruticultura (Besnard et al., 2001). Uma porção significativa do Cu que atinge o solo via fungicidas, biossólidos, lodos de estações de tratamento de água ou outros resíduos permanecem nas camadas mais superficiais ligada, principalmente, à matéria orgânica do solo (Teixeira et al., 2005).

Outros metais pesados, devido ao seu potencial de acúmulo nos solos e toxicidade para plantas e animais, merecem constante monitoramento de seus teores em cultivos intensivos de longo prazo. O chumbo (Pb), por exemplo, tem baixa solubilidade e mobilidade, apresentando-se principalmente na camada superficial do solo, podendo estar mais facilmente disponível às plantas. Esse elemento é considerado um dos metais pesados de maior preocupação ambiental, de modo que níveis elevados presentes nos solos causam diversos problemas, incluindo contaminação do lençol freático e toxicidade em plantas e animais (Galindo et al., 2005). No Estado de São Paulo, os valores de Pb que indicam referência de qualidade, prevenção e intervenção, são de 17, 72 e 180 mg kg^{-1} , respectivamente. Em virtude da escassez de valores de referência em outras regiões, esses teores têm sido utilizados como padrão para outros Estados do País.

Além de Pb, zinco (Zn) é considerado importante por ser um elemento essencial para plantas, animais e seres humanos. A concentração deste nos solos é dependente da composição química do material de origem. Porém, seus teores podem ser alterados em função de atividades antropogênicas. Zn é um elemento muito abundante na natureza e seus teores variam geralmente entre 10 e 300 mg kg^{-1} (Souza & Ferreira, 1988). Porém, a concentração deste metal na solução é muito inferior aos teores naturais no solo. Os teores

máximos permissíveis de Zn para áreas agrícolas, conforme o CONAMA (2009), são equivalentes a 450 mg kg^{-1} .

As plantas, quando submetidas à ambientes contaminados por metais pesados, apresentam uma série de distúrbios fisiológicos e nutricionais (Mengel & Kirkby, 1982; Kabata-Pendias e Pendias, 1987; Bergmann, 1992; Marschner, 1995; Soares, 1999; Paiva, 2000). Dentre os distúrbios nutricionais tem-se a interferência desses metais sobre a absorção, a translocação e as funções dos nutrientes. A presença de metais pesados pode provocar uma série de desarranjos fisiológicos nas plantas, pois passa-se a ter deficiência ou excesso de determinados nutrientes na parte aérea, o que prejudica o desenvolvimento e o crescimento normal dessas plantas (Paiva et. al., 2002).

Santos et al. (2002) avaliaram o acúmulo de metais pesados no solo e em plantas de tomate, em sistemas de cultivos diferentes, e verificaram que o sistema em cultivo mínimo proporcionou maior acúmulo de metais pesados quando comparado com o plantio convencional e observaram que, nas plantas, a aplicação foliar de defensivos agrícolas favoreceu o maior acúmulo de metais pesados na parte aérea das plantas, e os teores de Cu e Zn estiveram acima dos limites permitidos para metais pesados em plantas.

Cai et. al. (2010), trabalhando com amostras de solos e vegetais de hortaliças, coletados na cidade de Dongguan, China, mostraram que há maior acúmulo de metais pesados como o Cu, Zn, Ni, Pb, Cd e Hg em solos agrícolas, e os teores de Pb ($65,38 \text{ mg kg}^{-1}$) e Hg ($0,24 \text{ mg kg}^{-1}$) são 1,82 e 2,82 vezes os teores de referência dos metais pesados em solos da província de Guangdong, respectivamente, e nas amostras vegetais os elementos Ni, Pb e As tiveram suas concentrações maiores que os níveis máximos de contaminantes em alimentos. É necessário concentrar a atenção sobre o risco potencial de metais pesados para a segurança alimentar da saúde humana em solos agrícolas e produtos hortícolas na cidade de Dongguan.

Em estudo realizado por Markovic et al., (2010) em Belgrade, Sérvia, avaliaram os níveis de metais pesados e pesticidas no solo e na planta em produtos de uma área agrícola, no entanto, verificaram que as concentrações de Pb, Cd, Cu e Zn nos solos não excederam os limites estabelecidos pelos regulamentos nacionais e internacionais, e na maioria das amostras vegetais avaliadas, Pb e Cd foram mais elevados em comparação com os níveis máximos permissíveis. Ainda segundo os autores o aumento dos níveis de metais pesados e resíduos de pesticidas encontrados em produtos vegetais podem representar um risco para a saúde dos consumidores, e que é indispensável o seu monitoramento contínuo antes da distribuição de

produtos para os mercados da cidade.

Costa (2009) em estudo dos teores de metais pesados em cultivos de videira em Petrolina-PE encontrou altos teores de Cu e Zn na maioria das áreas cultivadas avaliadas, e atribui esses valores elevados à atividade antrópica

São escassos na literatura brasileira, dados referentes às alterações nas propriedades químicas do solo em função do tempo de cultivo de manga, principalmente em relação ao estudo do comportamento dos metais pesados nesses cultivos. Portanto, tendo em vista a importância da cultura da manga para o Brasil, e principalmente para o Vale do Submédio São Francisco, faz-se necessário um estudo das alterações de metais pesados e fertilidade do solo das áreas produtoras, devido ao intenso uso de agroquímicos na região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, C. A.; FERREIRA, M. E.; BORKERT, J. C. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: zinco e cobre. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; VAN RAIJ, B.; ABREU, C.A. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTATOS, p.125-150, 2001.

ALLOWAY, B. J. **Heavy metals in soils**. New York: John Wiley, 339p, 1990.

ALLOWAY, B. J. **Heavy metals in soils**. Blackie, USA and Canadá, 1993.

ALLOWAY, B. J. **Micronutrient deficiencies in global crop production**. New York: Springer, 353p, 2008.

ANGUS, J.F. Modeling N fertilization requirements for crops and pasture. In: BACON, P.E. (Ed.) **Nitrogen fertilization in the environment**. New York: Marcel Dekker, p.109- 127, 1995.

BAHAMINYAKAMWE, L.; SIMUNEK, J.; DANE, J. H.; ADAMS, J. F.; ODOM, J. W. Copper mobility in soils as affected by sewage sludge and low molecular weight organic acids. **Soil Sci.**, 171(1), 29-38, 2006.

BENAVIDES, M. P. et al. Cadmium toxicity in plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Viçosa, v. 17, n. 1, p. 21-34, 2005.

BERGMANN, W. **Nutritional disorders of plants: developments, visual and analytical diagnoses**. New York: Gustav Fischer Verlag Jena, 741p, 1992.

BERTI, M. J. F. Balanço de uso e aplicação de fertilizantes e agrotóxicos em duas sub-bacias do município de Sorriso – MT. **22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Joinville - Santa Catarina, 2003.

BESNARD, E.; CHENU, C.; ROBERT, M. Influence of organic amendments on copper distribution among particle-size and density fractions in Champagne vineyard soil. **Environmental Pollution**, v. 112, p. 329-337, 2001.

BHATTI, A. U. et al. Estimation of soil properties and wheat yields on complex eroded hills using geostatistics and thematic mapper images. **Remote Sensing Environment**, New York, v. 37, n. 3, p.181-191, 1991.

BOUDOT, J. P.; BEL HADJ, B. A.; CHONE, T.; HADJ, B. A. B. Carbon mineralization in andosols and aluminum-rich highland soils. **Soil Biol. Biochem.**, v. 18, p. 457-461, 1986.

BOWMAN, R. A. et al. Changes in soil properties in a Central Plains Rangeland soil after 3, 20, and 60 years of cultivation. **Soil Sci.**, Baltimore, v. 150, p. 851-857, 1990.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7 ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989.

BUMB, B.L. World nitrogen supply and demand: an overview. In: BACON, P.E. (Ed.) **Nitrogen fertilization in the environment**. New York: Marcel Dekker, p.1-40, 1995.

CAI, L.; HUANG, L.; ZHOU, Y.; XU, Z.; PENG, X.; YAO, L.; ZHOU, L.; PENG, P. Heavy metal concentrations of agricultural soils and vegetables from Dongguan, Guangdong. **Journal of Geographical Sciences**, v. 20, n. 1, p. 121-134, 2010.

CAIRES, E. F.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, 2002.

CAMARGO, M. S. et al. Adubação fosfatada e metais pesados em Latossolo cultivado com arroz. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, p. 513-518, 2000.

CAMARGO, O. A.; ALLEONNI, L. R. F. & CASAGRANDE, J. C. Reações dos micronutrientes e elementos tóxicos no solo. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; RAIJ, B. & ABREU, C. A. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: Legis Summa, p. 89-124, 2001.

CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 935-944, 2003.

CARDOSO, L. M. N.; CHASIN, A. A. M.. **Ecotoxicologia do cádmio e seus compostos**. Salvador: CRA - Centro de Recursos Ambientais, 2001. (Série Cadernos de Referência Ambiental do CRA, v.6).

CAVALCANTE, E. G. S. et al. Variabilidade espacial de MO, P, K e CTC do solo sob diferentes usos e manejos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 394-400, 2007.

CERRI, C. C.; FELLER, C.; CHAUVEL, A. Evolução das principais propriedades de um Latossolo Vermelho-Escuro após desmatamento e cultivo por doze e cinquenta anos com

cana-de-açúcar. **Cahiers Orstom**, Série Pédologie, v. 26, p. 37-50, 1991.

CHLOPECKA, A.; ADRIANO, D. C. Mimicked in-situ stabilization of metals in a cropped soil: bioavailability and chemical form of zinc. **Environment Science Technology**, v. 30, p. 3294-3303, 1996.

CODEVASF – **Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco**. Disponível em http://www.codevasf.gov.br/programas_acoes/transferencia-de-gestao/fruticultura, 2006. Acesso em: 20 jun. 2009.

CONAMA- **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. “Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.”, Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, DF, nº 249, de 30/12/2009, págs. 81-84. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano1.cfm?codlegitipo=3&ano=2009> (Acessado em Julho de 2010).

CONSOLINI, F.; COUTINHO, E. L. M. Efeito da aplicação de Zn e do pH do solo na disponibilidade do micronutriente. **Acta Scientiarum**. Agronomy, Maringá, v. 26, n. 1, p. 7-12, 2004.

CORRÊA, M. C. M.; CONSOLINI, F.; CENTURION, J. F. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho Distrófico sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 5, p. 1159-1163, 2001.

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

COSTA, A. C. S.; TORINO, C. A.; RAK, J. G. Capacidade de troca catiônica dos colóides orgânicos e inorgânicos de Latossolos do Estado do Paraná. **Acta Scientiarum** 21(3):491-496, 1999.

COSTA, W. P. L. B. **Alterações na fertilidade do solo e teores de metais pesados em solos cultivados com videira**. Dissertação de Mestrado, PPG-Ciência do Solo, UFRPE, 80 p, 2009.

DALTO, G. **Fertirrigação na cultura da mangueira**. I Simpósio de Manga do Vale do São Francisco, p. 1-6, 2005.

DARILEK, J. L. et al. Changes in soil fertility parameters and the environmental effects in a rapidly developing region of China. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 129, p. 286–292, 2009.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão. **Informações técnicas para o cultivo de feijão**. Brasília: Embrapa-SPI, 32p, 1996.

FALLEIRO, R. M.; SOUZA, C. M.; SILVA, C. S. W.; SEDIYAMA, C. S.; SILVA, A. A.; FAGUNDES, J. L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 1097-1104, 2003.

FAO – Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. **A manga no mundo e no Brasil**. Novidades no Mercado - Frutas e Hortaliças Frescas. http://www.hortibrasil.org.br/jnw/index.php?option=com_content&view=article&id=443:a-manga-no-mundo-e-no-brasil&catid=64:frutas-e-hortalicas-frescas&Itemid=82. Acessado em 03 jun. 2009.

FAO. Survey of the São Francisco River basin, Brazil; **soil resources and land classification for irrigation**. Rome, v.2. pt. 1, 1966.

FARIA, C. M. B.; SOARES, J. M.; LEÃO, P. C. S. Adubação verde com leguminosas em videira no Submédio São Francisco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 641-648, 2004.

FELIX, F. F.; **Comportamento do cobre aplicado no solo por calda bordalesa**. Dissertação de mestrado (Mestrado em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba-SP, 85 p, 2005.

FERNANDES, F. A.; CERRI, C. C ; FERNANDES, A. H. B. M. **Alterações na matéria orgânica e nas características químicas de um Podzol Hidromórficos sob pastagens cultivadas no Pantanal Sul-Mato-Grossense**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 28p, 2002. (Embrapa Pantanal. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 29).

FERNANDES, M. F.; NASCIMENTO, V. M. Fertilidade do solo e nutrição da mangueira. In: ROZANE, D. E.; DAREZZO, R. J.; AGUIAR, R. L.; AGUILERA, G. H. A.; ZAMBOLIM, L. **Manga - Produção Integrada, Industrialização e Comercialização**. UFV, Viçosa, 604 p., 2004.

GALINDO, I. C. de L.; BEZERRA, S. A.; NASCIMENTO, C. W. A. do; ACCIOLY, A. M. de A. Fertilizantes fosfatados e orgânicos e seus efeitos na imobilização de chumbo em solo contaminado. **Caatinga**, v. 18, n. 1, p. 58-65, 2005.

GUIMARÃES, P. T. G. **Nutrição e adubação da mangueira**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.8, p. 28-35, fev.1982.

HELYAR, K. R.; POTER, W. M. Soil acidification, its measurement and the processes

involved. In: ROBSON, A.D. (Ed.) **Soil acidity and plant growth**. Sydney: Academic Press, p. 61-100, 1989.

ISHIKAWA, D. N.; NOALE, R. Z.; OHE, T. H. K.; SOUZA, E. B. R. SCARMÍNIO, I. S.; BARRETO, W. J.; BARRETO, S. R. G. Avaliação do risco ambiental em sedimento dos lagos do riacho cambé, em londrina, pela distribuição de metais. **Química Nova**, v. 32, n. 7, 1744-1749, 2009.

JEEVAN RAO, K.; SHANTARAM, M.V. Effect of urban solid wastes on dry matter yield, uptake of micronutrients and heavy metals by maize plants. **Journal of Environmental Biology**, Muzaffarnagar, v. 17, n. 1, p. 25-32, 1996.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. Boca Raton: CRR Press, 315p, 1987.

KIEKENS, L. Zinc. In: ALLOWAY, B. J. (ed.) **Heavy metals in soils**. Glagow: Blachie and Son, p. 261-277, 1990.

KUMPIENE, J.; LAGERKVIST, A.; MAURICE, C. Stabilization of Pb- and Cu-contaminated soil using coal fly ash and peat. **Environmental Pollution**, Essex, v. 145, p. 365-373, 2007.

LACERDA, M. A. D.; LACERDA, R. D. O Cluster da fruticultura no Pólo Petrolina/Juazeiro. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. Volume 4 - Número 1- 1º Semestre 2004

LANA, R. P. Uso racional de recursos naturais não-renováveis: aspectos biológicos, econômicos e ambientais. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 38, p. 330-340, 2009.

LIMA, J. S. **Apostila do Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo**. Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2002.

LIMA, M. A. S. da. **Águas acumuladas em açudes e barragens na região de Santa Maria e flutuações em seus atributos físico químicos**. 2005. 83f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

LOPES, A. S.; CARVALHO, J. G. de. Técnicas de levantamento e diagnose da fertilidade do solo. In: OLIVEIRA, A.J. de; GARRIDO, J.D. de; LOURENÇO, S. (coord.). **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília: EMBRAPA-SEA, p. 7-61, 1991. (EMBRAPA-SEA. Documentos, 3).

MACHADO, L. O.; LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio

convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 591-599, 2007.

MAGALHÃES, A. F. J.; BORGES, A. L. Calagem e Adubação. In: MATOS A. P. de (org.). **Manga Produção: aspectos técnicos**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 63 p, 2000. (Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia: Frutas do Brasil; 4).

MANN, L. K. Changes in soil carbon storage after cultivation. **Soil Science**, Baltimore, v. 142, p. 279-288, 1986.

MARKOVIC, M.; CUPAC, S.; DUROVIC, R.; MILINOVIC, J.; KLJAJIC, P. Assessment of Heavy Metal and Pesticide Levels in Soil and Plant Products from Agricultural Area of Belgrade, Serbia. **Arch Environ Contam Toxicol**, v. 58, p. 341–351, 2010.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. London: Academic Press, 889 p, 1995.

MCBRIDE, M. B. Reactionscontrolling heavy metal solubility in soils. **Advances in Soils Science**, v. 10, p.1-47, 1989.

MCBRIDE, M. B.; SPIERS, G. Trace element content of selected fertilizers and dairy manures as determined by ICP-MS. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 32, p. 139-156, 2001.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 3.ed. Worblanfen-Bern: International Potash Institute, 655p, 1982.

MORAES, J. F. L. **Conteúdos de carbono e tipologia de horizontes nos solos da bacia Amazônica**. Dissertação (Mestrado) - USP-CENA, Piracicaba, 84p, 1991.

NACHTIGALL, G. R.; NOGUEIROL, R. C.; ALLEONI, L. R. F. Extração sequencial de Mn e Zn em solos em função do pH e adição de cama-de-frango. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 13, n. 3, p. 240–249, 2008.

NÚÑEZ, J. E. V. et. al. Sistemas de preparo de solo e acúmulo de metais pesados no solo e na cultura do pimentão (*Capsicum Annum L.*). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 1, p. 113-119, 2006.

OLIVEIRA, T. S.; COSTA, L. M.; CRUZ, C. D. Importância relativa dos metais pesados do solo na identificação e separação de materiais de origem. **Revista Ceres**, v. 45(260): 359-371, 1998.

PAIVA, H. N. **Toxidez de Cd, Ni, Pb e Zn em mudas de cedro (*Cedrela fissilis Vell.*) e ipê-**

roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standl.). Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2000. 283 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, 2000.

PAIVA, H. N.; CARVALHO, J. C.; SIQUEIRA, J. O. Índice de translocação de nutrientes em mudas de cedro (*Cedrela Fissilis* Vell.) e de ipê-roxo (*Tabebuia Impetiginosa* (Mart.) Standl.) submetidas a doses crescentes de cádmio, níquel e chumbo. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 26, n. 4, p. 467-473, 2002.

PAVAN, M. A. Calcium sources for apple production in Paraná, Brasil. **J. Advanc. Sci.**, v. 49, p. 121-123, 1997.

PELLEGRINI, J. B. R. **Fósforo na água e no sedimento na Microbacia Hidrográfica do Arroio Lino – Agudo/RS**. 2005. 85f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

PEREIRA, W. L. M.; VELOSO, C. A. C.; GAMA, J. R. N. F. Propriedades químicas de um Latossolo Amarelo cultivado com pastagens na Amazônia oriental. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.57, n.3, p.531-537, 2000.

PIMENTEL, C. R. M. Oportunidade e barreiras à expansão do comércio internacional para a manga nordestina. **Revista Econômica do Nordeste**. Fortaleza. v. 31, n.2, p. 166-176, 2000.

PROCHNOW, L. I.; PLESE, L. M.; ABREU, M. F. Bioavailability of cadmium contained in single superphosphates produced from different Brazilian raw materials. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 32, p. 283-294, 2001.

PUNZ, W. F., SIEGHARDT, H., The Response of Roots of Herbaceous Plant Species to Heavy Metals. **Environmental and Experimental Botany**, v. 33, n. 1, p. 85-98, 1993.

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

RAMALHO, J. F. G. P.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; VELLOSO, A. C. X. Contaminação da microbacia de Caetés com metais pesados pelo uso de agroquímicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 1289-1303, 2000.

RAMOS, M. C. Metals in vineyard soil of the Penedès area (NE Spain) after compost application. **Journal of Environmental Management**, London, v. 78, p. 209-215, 2006.

ROSS, S. M. **Toxic metals in soil-plant systems**. England, John Wiley & Sons, 1994.

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. (Eds.) **Fertilizantes-insumos básicos para a agricultura e combate à fome**. Petrolina: Embrapa CPATSA, SBCS, p.51-71, 1995.

SANCHES, A. C.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; RIGOLIN, A. T. Impacto do cultivo de citros em propriedades químicas, densidade do solo e atividade microbiana de um Podzólico vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 91-99, 1999.

SANCHEZ, P. A. **Properties and management of soils in the tropics**. New York, John Willey & Sons, 619p, 1976.

SANCHEZ, P. A.; VILLACHICA, J. H.; BANDY, D. E. Soil fertility dynamics after clearing a tropical rainforest in Peru. **Soil Science Society of America Journal**, v. 47, p. 1171-1178, 1983.

SANTOS, F. S.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; MAZUR, N. Influência de diferentes manejos agrícolas na distribuição de metais pesados no solo e em plantas de tomate. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 535-543, 2002.

SCHMITT, H.; STICHER, H. Heavy metal compounds in the soil. In: merian, E. (ed.). **Metals and their compounds in the environment**. New York, VHC Verlagsgesellschaft mbH, p. 311-331, 1991.

Secretaria da Agricultura, Irrigação e Reforma - **SEAGRI**. Disponível em <http://www.seagri.ba.gov.br/noticias.asp?qact=view&exibir=clipping¬id=10279>. Acesso 03 de junho de 2010.

SILVA, D. J. **Nutrição e Adubação da Mangueira em Sistema de Produção Integrada**. Circular Técnica – EMBRAPA, Petrolina-PE, 2008.

SILVA, P. C. G., CORREIA, R. C. Embrapa Semi-Árido. **Sistema de Produção**, 2 ISSN 1807-0027 Versão Eletrônica Julho/2004. Acesso em: 22 de julho de 2009 (<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Manga/CultivodaMangueira/socioeconomia.htm>).

SILVA, R. C.; PEREIRA, J. M.; ARAÚJO, Q. R.; PIRES, A. J. V.; REI, A. J. D. Alterações nas propriedades químicas e físicas de um Chernossolo com diferentes coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 101-107, 2007.

SOARES, F.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; MAZUR, N. Influência de diferentes manejos agrícolas na distribuição de metais pesados no solo e em plantas de tomate. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 535-542, 2002.

SOARES, C. R. F. S. **Toxidez de zinco, cobre, cádmio e chumbo para o eucalipto em solução nutritiva**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 1999. 132 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, 1999.

SOUZA, E. C. A.; FERREIRA, M. E. Zinco no solo. In: SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA, 1988, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: UNESP, p.279-319, 1988.

SOUZA FILHO, M. F. de.; RAGA, A.; ZUCCHI, R. A. Incidência de *Anastrepha obliqua* (Macquart) y *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae) en carambola (*Averrhoa carambola* L.) en ocho localidades del estado de São Paulo, Brasil. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Piracicaba, v.29, n.2, p.367-371, 2000.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York, Oxford University Press, 345p, 1989.

TECCHIO, M. A.; PAIOLI-PIRES, E. J.; TERRA, M. M.; GRASSI FILHO, H.; CÔRREA, J. C.; VIEIRA, C. R. Y. I. de.; Correlação entre a produtividade e os resultados de análise foliar e de solo em vinhedos de Niagara Rosada. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 30, n. 6, p. 1056-1064, 2006.

TEIXEIRA, S. T.; MELO, W. J.; SILVA, É. T. Metais pesados em solo degradado tratado com lodo de estação de tratamento de água. **Scientia Agricola**, v. 62, p. 498-501, 2005.

TILLER, K. G. Heavy metals in soils and their environmental significance. In: TILLER, K. G. **advances in soil science**. New York: Springer, v. 9, p. 113-114, 1989.

TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M. F. Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 159-163, 2002.

ZANELLO, S. **Caracterização mineralógica e avaliação dos teores de Cr, Ni, Cu, Zn e Pb dos solos do entorno do aterro sanitário da caximba em curitiba (PR)**. Dissertação, PPG-Ciência do Solo/UFPR, Curitiba, 90 p, 2006.

ZHU, B.; ALVA, A. K. Trace metal and cation transport in a sandy soil with various amendments. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 57, p. 723-727, 1993.

WIETHÖLTED, S. Histórico e perspectivas da prática de calagem no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. (CDROM, seção temática 4 - Palestras).

CAPÍTULO I

ALTERAÇÕES NA FERTILIDADE DOS SOLOS E TEORES FOLIARES DE MACRONUTRIENTES EM CULTIVOS DE MANGUEIRA

ALTERAÇÕES NA FERTILIDADE DOS SOLOS E TEORES FOLIARES DE MACRONUTRIENTES EM CULTIVOS DE MANGUEIRA

RESUMO: Os atuais sistemas de cultivo preconizam a utilização intensiva de insumos agrícolas para obtenção de elevadas produtividades, os quais podem alterar as propriedades do solo. Este trabalho objetivou avaliar as alterações na fertilidade do solo e nos teores de macronutrientes nas folhas em áreas cultivadas com mangueira em Petrolina (PE). Foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm e de folhas da mangueira na fase vegetativa em onze áreas com diferentes tempos de cultivo (6, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 16, 17, 19 e 26 anos). Áreas de vegetação nativa adjacentes às áreas cultivadas foram utilizadas para efeito de comparação. As propriedades químicas dos solos avaliadas foram: pH, P, K, Ca, Mg, Na e Al trocáveis, H+Al, P disponível, matéria orgânica (MO), SB, V, m, CTC total e CTC efetiva. Os macronutrientes avaliados nas folhas de manga foram: N, P, K, Ca e Mg. Os dados foram analisados por meio da aplicação do teste F à análise de variância, e por meio de análises de correlação e Teste de Tukey. Os manejos agrícolas adotados pelas empresas promoveram alterações na fertilidade dos solos quando comparados com os solos das áreas de referência. As variáveis adotadas para avaliar a fertilidade dos solos cultivados possibilitaram identificar excesso de fósforo no solo, o que pode contribuir com desequilíbrios nutricionais e com contaminação dos mananciais de água. As mudanças ocorridas no solo foram bem correlacionadas com os teores de MO. Os teores de macronutrientes nas folhas de mangueira foram nutricionalmente adequados, com exceção do Ca e Mg, cujas concentrações foliares foram abaixo do exigido para a cultura.

Palavras-chave: Irrigação; Eutrofização; Fertilizantes minerais; Matéria orgânica do solo

SOIL FERTILITY CHANGES AND PLANT MACRONUTRIENT CONTENT IN MANGO TREE PLANTATION

ABSTRACT: Most systems of cultivation advocate the intensive utilization of fertilizers and pesticides to obtain high yield, but they must to consider the soil properties changes due to management. This study aimed to analyze the soil fertility changes and macronutrient contents in mango tree plantations in Petrolina (Brazil). Samples of soil at the vegetative phase were collected in the 0-20 and 20-40 cm depths, as well as leaves of mango trees from eleven areas with different cultivation time spans (6, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 16, 17, 19, and 26 years). Nearby areas under natural vegetation were taken as reference. The chemical soil characteristics evaluated were: pH; P, K, Ca, Mg, Na and Al exchangeable; H + Al; Organic Matter (OM), Sum of Bases, Base Saturation, Al Saturation, total CEC and effective CEC. The mango leaves were analyzed to: N, P, K, Ca and Mg. The results showed that, in general, the agricultural management adopted in the areas provided improvements in soil fertility when compared with soils without anthropogenic alterations. The soil changes were well correlated with the soil organic matter contents. There was an increase in P contents in the 20-40 cm depth as a function of fertilizer inputs along with irrigation. This demonstrates the significant leaching of P to subsurface layers and possible eutrophication of water sources. The macronutrients concentration in plants were adequate, excepting for Ca and Mg, which were below the optimal range.

Words-key: Irrigation; eutrophication; mineral fertilizers; soil organic matter.

1. INTRODUÇÃO

A fruticultura, por ser um dos segmentos mais importantes do agronegócio brasileiro devido ao alto valor agregado e a expressiva mão-de-obra, está sendo uma importante alternativa para o avanço das exportações brasileiras de produtos agrícolas (SOBER, 2009). Dentre as frutas, a manga (*Mangifera indica* L.) tem se destacado nos mercados interno e externo, devido ao seu alto valor comercial (Albuquerque et al., 1999). No Nordeste, principalmente no Submédio São Francisco, a manga é um dos principais produtos da economia regional, com produção voltada para a exportação (Ribeiro et al., 2009). Essa região responde por cerca de 92% das exportações nacionais da fruta (Silva, 2008).

A retirada da vegetação nativa para implantação de cultivos de manga pode promover modificações nas propriedades químicas do solo, principalmente na camada arável, devido a adição de fertilizantes e corretivos e de operações agrícolas. Essas modificações podem melhorar as propriedades do solo, como também podem acelerar o seu processo de degradação, dependendo do tipo de solo, espécie vegetal, do sistema de manejo e do tempo de exploração (Pereira et al., 2000; Maia & Ribeiro, 2004; Costa, 2009). Estas alterações tornam-se mais evidentes conforme aumenta o tempo de uso da área (Falleiro et al., 2003).

A procura por uma agricultura cada vez mais tecnicada tem proporcionado a utilização de insumos agrícolas nos solos que resultam em altas produtividades da manga no Submédio São Francisco, mas não há estudos sobre as possíveis alterações nas propriedades químicas desses solos.

Os intensos revolvimentos do solo e aplicação de resíduos culturais e insumos agrícolas promovem modificações nos teores de matéria orgânica (MO), na capacidade de troca de cátions (CTC), no pH, na dinâmica dos íons e na agregação do solo (Falleiro et al., 2003). E o uso intenso e excessivo de fertilizantes e pesticidas podem causar, além de modificações químicas do solo, poluição do meio ambiente, alterando toda a cadeia de um ecossistema. Segundo Silva & Araújo (2005), a aplicação de adubos minerais de forma contínua, sem a preocupação de avaliar periodicamente o efeito residual dos fertilizantes aplicados, além de contribuir para o aumento da salinidade de solos irrigados, também pode provocar mudanças nas propriedades químicas do solo, e, conseqüentemente, no equilíbrio dos nutrientes, ocasionando problemas nutricionais das culturas, como conseqüência dos possíveis efeitos antagônicos entre os nutrientes. Tem sido desenvolvida poucas pesquisas

com experimentos em longo prazo, relacionadas as influências nas propriedades do solo. No entanto, cultivo intensivo, em longo prazo, pode causar considerável mudança nessas propriedades, principalmente por adições de fertilizantes e pesticidas (Costa, 2009).

O conhecimento das alterações nas propriedades químicas do solo, causadas pelo sistema convencional de cultivo, pode indicar informações para a adoção de práticas de manejo que permitam aumentar a produtividade da cultura, minimizando os danos ambientais (Corrêa et al., 2001). Dessa forma, devido a importância da cultura da manga para o Brasil, principalmente na região Nordeste, este trabalho objetivou avaliar as alterações na fertilidade do solo e os teores de macronutrientes nas folhas em áreas cultivadas com mangueira em Petrolina (PE) visando avaliar a sustentabilidade agrícola do sistema.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local da coleta

Os solos e materiais vegetais utilizados para análises foram oriundos de áreas cultivadas com mangueira, localizados no município de Petrolina-PE. Os tempos de cultivo e a classificação dos solos de cada uma das áreas encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Identificação das áreas, tempos de cultivo e classificação dos solos cultivados com manga em Petrolina-PE.

Áreas de Coleta	Tempo de Cultivo (TC) - (anos)	Classificação dos solos
AM Export	6	Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico
Andorinha	7	Neossolo Quartzarênico
EBFT	8	Neossolo Quartzarênico
Fazenda Alphavale	9	Neossolo Quartzarênico
Copafruit	10	Latossolo Vermelho-Amarelo
AM Export	11	Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico
Agrobrás	14	Argissolo Vermelho-Amarelo
Agrobrás	16	Argissolo Vermelho-Amarelo
Frutex	17	Neossolo Quartzarênico
UPA	19	Neossolo Quartzarênico
Copafruit	26	Latossolo Vermelho Distrófico

2.2. Levantamento de informações

Nas tabelas 2 e 3 são apresentados dados das áreas de cultivos decorrentes dos questionários aplicados aos proprietários que são importantes para avaliação dos resultados obtidos.

Tabela 2. Área de cultivo, práticas de conservação e manejo de irrigação, adubação mineral aplicadas nos plantios avaliados

TC - anos	Áreas	Área total da propriedade e com manga	Práticas Conservacionistas	Uso anterior do solo	Irrigação	Adubação Inorgânica
6 e 11	AM Export	128 ha, sendo 45 ha com manga	Curvas de nível	Pimenta e côco por 2 anos	Microaspersão realizada diariamente	A lanço sem incorporação e por fertirrigação. Fonte: N/P/K. Aplicado de acordo com a necessidade.
7	Andorinha	150 ha, sendo 40 ha com manga	Cobertura morta	Banana por 4 anos	Microaspersão realizada diariamente	Sulfato de amônio por fertirrigação com frequência semestral. Sulfato de Potássio com frequência anual.
8	EBFT	607 ha, sendo 109,2 ha com manga	Não informado	Banana por 4 anos	Microaspersão realizada diariamente	N/P/K aplicado por cobertura. De acordo com análise de solo e ciclo fenológico. Micronutrientes por meio da fertirrigação, de acordo com análise de solo, sendo aplicado semanalmente.
9	Fazenda Alphavale	100 ha, sendo 15 ha com manga	Não informado	Não foi explorado por outra cultura	Microaspersão realizada diariamente	Sulfato de amônio por fertirrigação, aplicado a cada 4 meses de acordo com análise de solo. Pós poda: Uréia, Sulfato de Potássio, Sulfato de Magnésio, Sulfato de Zinco, Ácido Bórico, Ácido Fosfórico e Cloreto de Cálcio. Pós flor: Cloreto de Cálcio, Sulfato de Potássio, MAP, Nitrato de Cálcio, Sulfato de Ferro, Sulfato de Magnésio, Sulfato de Zinco, Ácido Bórico e Ácido Fosfórico. Fertilizantes incorporados: Supersimples, Óxido de Magnésio e gesso.
10 e 26	Copafruit	270 ha, sendo 132 ha com manga	Drenagem	Não foi explorado por outra cultura	Microaspersão realizada diariamente	Os adubos são aplicados de acordo com análise de solo. A frequência de aplicação é diária, na época de produção. São aplicados em maior proporção no período de produção, sendo que nos períodos de colheita são realizadas em menor quantidade. Todo os adubos são incorporados.
14 e 16	Agrobrás	190 ha, sendo 130 ha com manga	Curvas de nível	Culturas anuais por 4 anos	Microaspersão realizada diariamente	Nitrato de Cálcio, via fertirrigação. Cloreto de Potássio, Sulfato de Zinco, Ácido Bórico, MAP e Sulfato de Magnésio. Todos os adubos são aplicados no período de produção.
17	Frutex	252 ha, sendo 122,5 ha com manga	Não é realizada	Não foi explorado por outra cultura	Microaspersão realizada diariamente	Sulfato de Potássio, MAP granulado, Uréia, Sulfato de Amônio, Nitrato de Amônio, Ácido Bórico e Sulfato de Zinco.

Informações obtidas mediante aplicação de questionários junto aos proprietários

Tabela 3. Adubação orgânica, correção química e manejo de pragas e doenças utilizados nos plantios avaliados

TC - anos	Áreas	Adubação Orgânica	Correção química	Programa de manejo de pragas e doenças
6 e 11	AM Export	Esterco, aplicado a cada ciclo da cultura. Com incorporação. Dose: 40 L/planta	Gessagem e calagem com incorporação, de acordo com a análise de solo. A frequência depende da necessidade do solo.	PIF. As pulverizações são feitas via foliar nos períodos chuvosos. É feito o controle de ervas daninhas quando necessário utilizando a roçadeira.
7	Andorinha	Composto, com incorporação. Dose: 20 L/planta. Frequência anual	Calagem - calcário dolomítico, com incorporação. Aplicado de acordo com a análise de solo quando necessário.	PIF. As pulverizações são feitas via foliar mensalmente utilizando agroquímicos. O controle de ervas daninhas é feito semestralmente, utilizando o Glifosato, aplicado por meio de trator.
8	EBFT	Esterco caprino e bovino, aplicado a lanço. Dose: 40 L/planta a cada 2 anos	Gessagem, aplicado a lanço, de acordo com análise de solo.	PIF. As pulverizações são realizadas via foliar e por meio da água de irrigação. O período de aplicação é realizado de acordo com dados do monitoramento do PIF. O controle de ervas daninhas é feito mensalmente, utilizando a estrovinga.
9	Fazenda Alphavale	Aminoagro Mol, aplicado por fertirrigação a cada 2 meses	Não informado	PIF. As pulverizações são feitas via foliar, de acordo com dados de monitoramento de campo. O controle de ervas daninhas é realizado a cada 6 meses, utilizando o Glifosato por meio de pulverização.
10 e 26	Copafruit	Esterco caprino. Dose: 40 L/planta, aplicado uma vez por ano	Não é realizada	PIF. As pulverizações são realizadas via foliar no período de pós poda e floração, utilizado o Thiabendazole, Carbendazim, Enxofre e Cobre. Não é feito o controle de ervas daninhas.
14 e 16	Agrobrás	Esterco caprino incorporado. Dose: 40 L/planta, aplicado uma vez por ano	Gessagem e calagem. Com incorporação. De acordo com a análise de solo. A frequência é anual.	PI. As pulverizações são realizadas via foliar no período de produção, utilizando inseticida e fungicida. O controle de ervas daninhas é realizado no período chuvoso, aplicando herbicida por meio de pulverizador costal.
17	Frutex	Não informado	Gessagem - gesso agrícola	PIF. As pulverizações são feitas via foliar de acordo com os níveis de ação. O controle de ervas daninhas é realizado diariamente, por meio de estrovinga.
19	UPA	Esterco, Hufmax 8.0 e Aminoagro Alga +.	Calagem e gessagem	PIF. As pulverizações são realizadas via foliar de acordo com o nível de ação, por meio de atomizador mecanizado. O controle de ervas daninhas é feito por meio de roço manual.

Informações obtidas mediante aplicação de questionários junto aos proprietários

2.3. Amostragem

2.3.1. Solos

As amostras de solos foram coletadas em áreas sob cultivo de manga com onze tempos de cultivo (6, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 16, 17, 19 e 26 anos), em dois ambientes distintos: área de cultivo (AC) e área de referência – bioma Caatinga (AR - vizinhas aos cultivos de manga, com ausência ou mínima interferência antrópica) e nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, na extremidade da área de projeção da copa da mangueira. Para coleta das amostras, a área cultivada foi dividida em três parcelas iguais, sendo cada parcela com área de 1040 m² e 1800 m², para as áreas com espaçamento de 8 x 5 e 10 x 10, respectivamente. De cada parcela, foram amostrados quinze pontos escolhidos aleatoriamente nas linhas de cultivo, para formação da amostra composta. Na área de caatinga, foi coletada apenas uma amostra composta, formada por cinco amostras simples, entretanto, a mesma foi analisada em triplicata.

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente etiquetados, lacrados, embalados e armazenados em temperatura ambiente e transportados para o Laboratório de Fertilidade do Solo da UFRPE, onde procederam-se as análises (Tabelas 4).

2.3.2. Folhas

Para a avaliação do estado nutricional foram coletadas quatro folhas por planta, nos quatro pontos cardeais, a uma altura mediana da copa. Para coleta das amostras, a área cultivada foi dividida em três parcelas iguais. De cada parcela, foram amostradas quinze plantas, escolhidas aleatoriamente nas linhas de cultivo, sendo no mesmo local de coleta do solo, com exceção da área com tempo de 8 anos de cultivo, no qual não foi coletado material vegetal por estar em estágio vegetativo diferente das demais áreas, no caso, em fase de produção. A amostragem se procedeu em ramos normais e recém-maduros, retirando as folhas da parte mediana do penúltimo fluxo do ramo ou do fluxo terminal (Embrapa, 2000). As amostras foram acondicionadas em saco de papel e mantidas sob refrigeração até serem transportadas para o Laboratório de Fertilidade do Solo da UFRPE e se procederem às análises químicas.

Tabela 4. Caracterização química e textura das amostras de solo nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm das áreas sob cultivo de manga em Petrolina-PE

Características	Mangueiras - Tempos de Cultivo (anos)											
	Prof. (cm)	6	7	8	9	10	11	14	16	17	19	26
pH ⁽¹⁾	0-20	6,5	7,0	7,5	7,3	7,4	6,9	7,1	7,4	7,0	7,8	7,7
	20-40	6,1	7,3	7,7	7,1	7,3	6,6	6,9	7,0	6,7	7,7	7,6
P (mg dm ⁻³) ⁽¹⁾	0-20	147,28	131,95	291,03	72,81	88,74	116,02	112,80	121,66	67,98	133,63	248,75
	20-40	115,08	76,40	131,68	21,00	52,51	75,68	110,95	62,20	20,87	70,37	142,52
K (cmol _c dm ⁻³) ⁽¹⁾	0-20	0,57	0,15	0,43	0,21	0,21	0,56	0,22	0,22	0,24	0,36	0,31
	20-40	0,45	0,10	0,23	0,17	0,19	0,52	0,29	0,23	0,18	0,33	0,27
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ⁽¹⁾	0-20	2,88	4,10	4,98	2,97	3,63	4,10	3,57	4,22	3,17	4,58	5,37
	20-40	2,48	2,78	3,55	1,68	2,42	3,25	3,02	2,20	1,80	2,78	3,45
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ⁽¹⁾	0-20	1,30	1,42	1,08	1,03	1,22	1,28	0,73	0,63	1,03	1,30	1,43
	20-40	1,32	0,62	0,82	0,72	0,85	1,43	0,77	0,75	0,88	1,02	1,08
Al ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ⁽¹⁾	0-20	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
	20-40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
H+Al (cmol _c dm ⁻³) ⁽¹⁾	0-20	1,23	0,86	0,53	0,72	0,58	1,09	1,04	0,78	0,79	0,58	0,49
	20-40	1,51	0,64	0,36	0,75	0,53	1,17	0,87	0,82	0,90	0,56	0,72
Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³) ⁽¹⁾	0-20	0,11	0,11	0,08	0,06	0,02	0,10	0,01	0,03	0,06	0,23	0,05
	20-40	0,06	0,08	0,05	0,12	0,10	0,15	0,03	0,03	0,08	0,07	0,03
CO (g kg ⁻¹) ⁽²⁾	0-20	5,73	8,23	8,29	4,82	6,38	8,83	5,91	6,51	6,15	7,90	8,66
	20-40	4,27	4,57	4,78	2,52	3,18	4,26	4,12	2,73	2,87	4,31	4,88
MO (g kg ⁻¹) ⁽²⁾	0-20	9,89	14,20	14,29	8,31	11,00	15,22	10,19	11,24	10,60	13,63	14,94
	20-40	7,37	7,87	8,24	4,34	5,48	7,33	7,10	4,71	4,96	7,43	8,41
T (cmol _c dm ⁻³) ⁽³⁾	0-20	4,96	5,77	6,57	4,27	5,09	6,04	4,52	5,11	4,53	6,47	7,16
	20-40	4,31	3,58	4,64	2,70	3,55	5,42	4,10	3,21	2,98	4,20	4,84
t (cmol _c dm ⁻³) ⁽³⁾	0-20	6,09	6,63	7,10	4,99	5,67	7,14	5,56	5,89	5,29	7,05	7,65
	20-40	5,82	4,22	5,01	3,45	4,08	6,54	4,97	4,02	3,85	4,75	5,56
SB (cmol _c dm ⁻³) ⁽³⁾	0-20	4,86	5,77	6,57	4,27	5,09	6,04	4,52	5,11	4,50	6,47	7,16
	20-40	4,31	3,58	4,64	2,70	3,55	5,36	4,10	3,21	2,95	4,20	4,84
V (%) ⁽³⁾	0-20	79,59	87,28	92,50	85,70	89,50	84,79	81,36	86,46	85,02	91,59	93,76
	20-40	73,98	84,83	92,32	78,38	87,07	81,87	81,33	79,59	76,60	88,39	87,09
m (%) ⁽³⁾	0-20	2,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,76	0,00	0,00
	20-40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,18	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00
Areia (g kg ⁻¹) ⁽⁴⁾	0-20	867	936	902	924	905	885	819	895	924	898	892
	20-40	864	939	903	914	902	824	828	820	921	863	874
Silte (g kg ⁻¹) ⁽⁴⁾	0-20	50	28	49	50	32	47	52	40	24	49	48
	20-40	39	25	26	44	34	38	50	76	18	42	43
Argila (g kg ⁻¹) ⁽⁴⁾	0-20	83	36	49	27	63	68	128	65	52	53	60
	20-40	97	36	71	42	64	138	122	104	61	95	83

(1): Embrapa (1999); (2): Silva et al. (1999); (3): Cálculos; (4): Ruiz (2005)

2.4. Análises Químicas e Físicas

2.4.1. Solos

As amostras de solo foram secas ao ar, posteriormente destorroadas e passadas em peneira de abertura de malha de 2 mm.

Os atributos químicos analisados foram: pH em água (1:2,5); K^+ e Na^+ trocáveis determinados por fotometria de emissão de chama após extração com extrator Mehlich-1; Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis por titulação após extração com solução de cloreto de potássio 1 mol L^{-1} ; Al^{3+} trocável por titulação após extração com solução de KCl 1 mol L^{-1} ; H+Al por titulação após extração com solução de acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$; fósforo disponível por colorimetria após extração com extrator Mehlich-1; (Embrapa, 1999). O C orgânico foi determinado pelo método de Walkley-Black modificado (Silva et al., 1999). A partir dos resultados obtidos do complexo sortivo, foram calculados os valores de soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions potencial (T) e efetiva (t), saturação por bases (V) e saturação por Al (m).

Quanto a análise física das amostras de solo coletadas, foi realizada a análise granulométrica nas amostras de solo, utilizando o método da pipeta, de acordo com Ruiz (2005).

2.4.1. Folhas

O material vegetal foi lavado três vezes em água destilada e colocado para secar em estufa com circulação de ar a $65 \text{ }^\circ\text{C}$, sendo posteriormente moído em moinho de facas.

O N total foi obtido por meio de digestão sulfúrica, destilação e titulação (método Kjeldahl). Os demais elementos foram determinados a partir de extratos de digestão em forno microondas, utilizando o método 3051A (USEPA, 1998). Nesse procedimento, foi transferido 0,5 g das amostras para tubo de teflon, onde foram adicionados 9 mL de HNO_3 e 3 mL de HCl. Os tubos foram fechados, levados para o forno de microondas (Mars Xpress), inicialmente por 8 minutos e 40 segundos, tempo necessário para atingir $175 \text{ }^\circ\text{C}$, temperatura esta mantida por mais 4 minutos e 30 segundos. Após resfriamento, os extratos foram completados, por meio de pipeta automática calibrada, para um volume de 20 mL com água

ultra pura, filtradas, com papel de filtro, e armazenados em tubos. O P foi determinado por colorimetria, Na e K por fotometria de chama, Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica.

2.5. Análises Estatísticas

Para as análises estatísticas dos resultados referentes aos atributos químicos dos solos foram considerados 11 bancos de dados isolados, que corresponderam a cada tempo de cultivo avaliado. Dessa maneira, para cada tempo de cultivo, a análise estatística foi realizada em arranjo fatorial 2x2 (dois ambientes e duas profundidades) com três repetições, totalizando 132 unidades experimentais.

Para a estatística dos resultados das análises químicas das plantas foram considerados dez tempos de cultivo e três repetições, totalizando 30 unidades experimentais.

As análises estatísticas realizadas foram baseadas na aplicação do teste F à análise de variância, em análises de correlação e Teste de Tukey ($P < 0,05$), utilizando o software Statistical Analysis System (SAS, 1999).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Atributos químicos do solo

O pH do solo sob cultivo de manga foi maior que o pH do solo sob mata nativa (Tabela 5), exceto nas áreas de cultivo com 6 e 9 anos. Esse aumento do pH com o cultivo é favorecido pelas práticas agrícolas, principalmente a calagem. Resultados semelhantes são relatados por Araujo et al. (2000), comparando o pH do solo sob mata nativa como o solo da área cultivada com mandioca. Borges & Kiehl (1997) encontraram valores de pH superiores em áreas cultivadas, atribuindo a esse fato a aplicação de calcário. A área com 6 anos de cultivo, na profundidade de 20-40 cm, e a área com 11 anos de cultivo, nas duas profundidades apresentaram redução do pH na área de cultivo (AC) em comparação com a área de referência (AR). Nessas áreas, que são pertencentes a mesma empresa, a aplicação de adubos amoniacais pode justificar tais resultados, devido a característica de acidificação do solo desses adubos. Quanto ao efeito da profundidade a área com TC de 16 anos apresentou redução significativa do pH a medida que aumentou a profundidade, e o TC de 7 anos apresentou acréscimo significativo do pH com o aumento da profundidade .

A aplicação de calagem nas AC, além de justificar o aumento do pH do solo, pode explicar a redução dos teores de Al e H+AL dos solos na maioria das áreas estudadas. Esse resultado corrobora os obtidos por Theodoro et al. (2003) que encontraram maiores teores de Al e H+AL em solo sob mata nativa, atribuindo esse fato a calagem, a adubação orgânica e a cobertura vegetal permanente do solo em áreas de cultivo de café. A profundidade, possivelmente, não influenciou nos teores de Al e H+AL do solo nas AC. Por outro lado, nas AR com 7, 10, 16 e 26 anos, ocorreram acréscimos nos teores de Al com o aumento da profundidade. Os teores de H+Al aumentaram nas AR com 6 e 26 anos com o aumento da profundidade, e reduziram nas AR com 7, 8, 14 e 16 anos.

Os teores de matéria orgânica (MO) para a profundidade de 0-20 cm apresentaram diferença significativa ($P < 0,05$) para maioria das áreas avaliadas (Tabela 5). Apenas as áreas com 7, 10 e 26 anos de cultivo, apresentaram teores de MO superiores aos da área de referência. Aumento no teor de MO com o cultivo foi relatado também por Costa (2009) que analisou solos sob diferentes tempos de cultivo de videiras na região do Submédio São Francisco. As práticas agrícolas adotadas nas respectivas áreas, como por exemplo a

utilização de cobertura morta na área com 7 anos de cultivo e aplicação de adubos orgânicos nas outras duas áreas (Tabela 3), justificam esse resultado. Nas áreas com 14 e 16 anos, em ambas as

Tabela 5. Atributos químicos (pH, MO, P, Al e H+Al) dos solos com diferentes tempos de cultivo, em áreas de cultivo (AC) e áreas de referência (AR) nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm

TC anos	pH		MO		P		Al		H+Al	
	(1:2,5)		g kg ⁻¹		mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³			
	AC	AR	AC	AR	AC	AR	AC	AR	AC	AR
Profundidade 0-20 cm										
6	6,5aA	6,5aA	9,89aA	9,38aA	147,28aA	2,35bA	0,10aA	0,00bA	1,23bA	1,76aB
7	7,0aB	5,5bA	14,20aA	5,01bA	131,95aA	2,32bA	0,00bA	0,12aB	0,86bA	1,93aA
8	7,5aA	5,1bA	14,29aA	9,55aA	291,03aA	4,81bA	0,00bA	0,28aA	0,53bA	3,41aA
9	7,3aA	7,0aA	8,31aA	7,26aA	72,81aA	24,27aA	0,00aA	0,00aA	0,72aA	0,69aA
10	7,4aA	4,9bA	11,00aA	6,50bA	88,74aA	6,84aA	0,00bA	0,33aB	0,58bA	2,44aA
11	6,9bA	7,3aA	15,22aA	11,41aA	116,02aA	42,08bA	0,00aA	0,00aA	1,09aA	0,91aA
14	7,1aA	5,6bA	10,19bA	69,16aA	112,80aA	5,99bA	0,00bA	0,12aA	1,04bA	7,70aA
16	7,4aA	5,6bA	11,24bA	69,16aA	121,66aA	5,99bA	0,00bA	0,12aB	0,78bA	7,70aA
17	7,0aA	5,5bA	10,60aA	8,25aA	67,98aA	5,34bA	0,03aA	0,12aA	0,79bA	2,36aA
19	7,8aA	6,4bB	13,63aA	11,27aA	133,63aA	11,56bA	0,00aA	0,03aA	0,58bA	2,01aA
26	7,7aA	4,8bA	14,94aA	9,71bA	248,75aA	8,20bA	0,00bA	0,53aB	0,49bA	3,87aB
Profundidade 20-40 cm										
6	6,1bA	6,4aB	7,37aA	9,85aA	115,08aA	2,80bA	0,00aB	0,03aA	1,51bA	2,06aA
7	7,3aA	5,2bB	7,87aB	2,52bB	76,40aA	1,24bB	0,00bA	0,28aA	0,64bA	1,43aB
8	7,7aA	5,0bA	8,24aB	4,58aB	131,68aA	2,26bA	0,00bA	0,33aA	0,36bA	1,93aB
9	7,1aA	6,7bB	4,34bB	5,27aB	21,00aA	9,52aB	0,00aA	0,00aA	0,75aA	0,80aA
10	7,3aA	4,9bA	5,48aB	5,54aB	52,51aA	5,83aA	0,00bA	0,43aA	0,53bA	2,50aA
11	6,6bA	7,3aA	7,33bB	11,37aA	75,68aA	31,16aB	0,07aA	0,00aA	1,17aA	0,94bA
14	6,9aA	5,4bB	7,10bA	35,18aB	110,95aA	3,51bB	0,00bA	0,17aA	0,87bA	7,10aB
16	7,0aB	5,4bB	4,71bB	35,18aB	62,20aA	3,52bB	0,00bA	0,17aA	0,82bA	7,10aB
17	6,7aA	5,4bA	4,96bB	7,61aB	20,87aA	4,67bA	0,03aA	0,10aA	0,90bA	2,25aA
19	7,7aA	6,5bA	7,43aB	7,96aB	70,37aA	4,79bB	0,00aA	0,03aA	0,56bA	1,87aA
26	7,6aA	4,6bB	8,41aB	7,64aB	142,52aA	4,00bB	0,00bA	1,02aA	0,72bA	4,28aA

Médias seguidas por letras minúsculas idênticas na horizontal (entre AC e AR) e por letras maiúsculas idênticas na vertical (entre 0-20 e 20-40) não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P < 0,05).

profundidades, e as áreas com 9, 11 e 17 anos, na profundidade de 20-40 cm, os teores de MO foram significativamente maiores na AR, o que pode ser explicado pelo fato da matéria orgânica permanecer mais preservada em virtude da não mobilização do solo, da maior

diversidade de espécies vegetais e da maior reciclagem do carbono propiciada pela reposição continuada do material orgânico vegetal (Almeida et al., 2005). De modo semelhante, Sanches et al. (1999), verificaram maiores teores de MO em áreas de mata na profundidade de 20-40 cm, quando comparados a área sob cultivo de citros. Santos & Ribeiro (2002) observaram redução no teor de carbono orgânico no perfil de solo cultivado com manga, em comparação com perfil de solo sob vegetação nativa, na região do Submédio São Francisco, atribuindo a este fato, provavelmente, a pequenas doses de MO aplicadas e com a maior umidade e movimentação dos solos sob cultivo irrigado. Apenas a área com TC de 7 anos apresentou teores de MO na AC superiores à AR, na profundidade de 20-40 cm, devido aos teores muito baixos de MO nesses solos da Caatinga, que pode ser justificado pela classe textural arenosa, apresentando teores de areia, silte e argila, de 962; 20 e 18 g kg⁻¹, respectivamente. Nas áreas em que não houve diferença significativa entre AC e AR mostra que o manejo agrícola manteve os teores naturais de MO dos solos da Caatinga.

De maneira geral, os teores de MO do solo na profundidade de 0-20 cm foram superiores aos da profundidade de 20-40 cm, tanto para AC como para a AR (Tabela 5), com exceção para as AC com 6 e 14 anos e as AR com 6 e 11 anos. Esses resultados corroboram os encontrados por Corrêa et al. (2001) que detectaram redução dos teores de MO com a profundidade, tanto no solo sob mata como no cultivo de cana-de-açúcar.

De acordo com a Embrapa Semi-Árido (Faria et al., 2007), os teores de MO no solo das AC são considerados baixos. Possivelmente, os solos arenosos da região do Submédio São Francisco propiciam baixa proteção à matéria orgânica, e juntamente com as condições climáticas da região, podem imprimir aos solos maior facilidade de oxidação da MO (Silva & Resck, 1997). Portanto, é de grande importância o manejo agrícola adotado pela maioria das áreas avaliadas, quanto a adubação orgânica. Dentre essas práticas está a utilização na adubação de esterco bovino e caprino e a utilização de produtos comerciais destinados a adubação orgânica, como o Aminoagro e Hufmax 8.0 (Tabela 3).

Os maiores teores de P foram encontrados nas áreas cultivadas (Tabela 5). Esses valores foram muito altos, levando-se em conta o nível crítico para mangueiras (40 mg dm⁻³) do estado de Pernambuco (IPA, 2008). Resultados semelhantes foram encontrados por Sanches et al., (1999) e Araujo et al., (2000). Costa (2009) encontrou teores de P bastante elevados nas áreas cultivadas com uva em Petrolina-PE, em algumas áreas os teores de P foram mais elevados que os do presente trabalho, sendo justificado pelo aporte mais intenso

de fertilizantes fosfatados na cultura da uva. Esses elevados teores de P podem ser atribuídos às práticas de adubações minerais adotadas pelas empresas agrícolas. Apenas nas AR foram observadas diferenças nos teores de P entre as duas profundidades estudadas, nas quais houve reduções dos teores de P com a profundidade. A ausência de diferenças entre os teores de P nas duas profundidades das AC em estudo pode ser decorrente da textura arenosa, que facilita a movimentação do P aplicado.

Esses elevados teores de P acarretam grande risco ambiental de contaminação de corpos d'água superficiais e subterrâneos, especialmente nos solos arenosos da região (Tabela 4) com baixa capacidade máxima de adsorção. Teores superiores a 120 mg kg^{-1} de P, extraídos com Mehlich-1, são considerados críticos no solo e não se recomenda adubação fosfatada até diminuir significativamente esses teores (Sharpley et al., 1996). Portanto, a adoção de manejo mais adequado para adubação fosfatada deveria ser considerada nessas áreas, com o intuito de diminuir os impactos ambientais e os gastos financeiros desnecessários com esses tipos de fertilizantes.

Os teores de Ca foram influenciados significativamente pelos ambientes analisados (Tabela 6). Nas duas profundidades, as áreas com 7, 8, 9, 10, 26 anos apresentaram maiores teores de Ca quando comparados as AR. Esses incrementos nos teores de Ca são decorrentes principalmente da aplicação de calagem nas AC. De maneira geral, o aumento dos teores de Ca nas AC coincide com a redução dos teores de Al e H+Al, finalidade da prática de calagem nas áreas agrícolas. Além da calagem, a aplicação de gesso e a adubação com fosfatos de cálcio das propriedades contribuem para a elevação desse nutriente no solo. Costa (2009) estudando áreas sob cultivo de uva, também encontrou valores de Ca superiores nas áreas cultivadas em comparação com a Caatinga. As áreas com 6, 14 e 16 anos, na profundidade de 0-20 cm e as áreas com 6, 11, 16, 17 e 19 anos, na profundidade de 20-40 cm, apresentaram maiores teores de Ca nas AR, ou seja, sob mata nativa, que é derivado, possivelmente, da fertilidade natural desses solos.

Os teores de Ca não foram influenciados pela profundidade, na maioria das áreas cultivadas, de maneira que não houve diferenças entre os teores desse nutriente nas duas profundidades. Isso indica a incorporação dos corretivos e fertilizantes em subsuperfície. Nas AR observa-se um maior número de áreas diferentes significativamente, com redução dos teores de Ca com o aumento da profundidade, devido ao não-revolvimento desses solos. E por tratar-se de um elemento catiônico e pouco móvel no solo, o Ca apresentou maiores

concentrações nas camadas superficiais do solo, sendo esses altos valores atribuídos à ciclagem dos nutrientes com a decomposição dos resíduos culturais (Falleiro et al., 2003; Siqueira Neto et al., 2009).

Tabela 6. Atributos químicos (Ca, Mg, Na e K) dos solos com diferentes tempos de cultivo, em áreas de cultivo (AC) e áreas de referência (AR) nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm

TC anos	Ca		Mg		Na		K	
	cmol _c dm ⁻³							
	AC	AR	AC	AR	AC	AR	AC	AR
Profundidade 0-20 cm								
6	2,88bA	5,70aA	1,30bA	2,20aA	0,11aA	0,05aA	0,57aA	0,40aA
7	4,10aA	0,62bA	1,42aA	0,52bA	0,11aA	0,04aA	0,15aA	0,03bA
8	4,98aA	0,95bA	1,08aA	0,53bA	0,08aA	0,03bA	0,43aA	0,09bA
9	2,97aA	2,37bA	1,03aA	0,65aA	0,06aA	0,04aA	0,21aA	0,16bA
10	3,63aA	0,77bA	1,22aA	0,75bA	0,02aA	0,05aA	0,21aA	0,11bA
11	4,10aA	4,52aB	1,28bB	2,02aA	0,10aA	0,10aA	0,56bA	2,18aA
14	3,57bA	7,45aA	0,73bA	1,80aA	0,01aA	0,10aA	0,22aA	0,33aA
16	4,22bA	7,45aA	0,63bA	1,80aA	0,03aA	0,10aA	0,22bA	0,33aA
17	3,17aA	2,75aA	1,03aA	1,00aA	0,06aA	0,07aA	0,24aA	0,26aA
19	4,58aA	3,53aA	1,30aA	0,70bA	0,23aA	0,09bA	0,36aA	0,21bA
26	5,37aA	1,25bA	1,43aA	0,90aA	0,05aA	0,03aA	0,31aA	0,20bA
Profundidade 20-40 cm								
6	2,48bA	5,67aA	1,32bA	2,47aA	0,06aA	0,05aA	0,45aA	0,41aA
7	2,78aA	0,00bB	0,62aB	0,35aA	0,08aA	0,05aA	0,10aB	0,02bB
8	3,55aA	0,35bA	0,82aA	0,38bA	0,05aB	0,06aA	0,23aB	0,07bB
9	1,68aB	1,55bB	0,72aA	0,55aA	0,12aA	0,03aA	0,17aA	0,14bB
10	2,42aA	0,73bA	0,85aA	0,30bB	0,10aA	0,04aA	0,19aA	0,10bA
11	3,25bA	5,23aA	1,43bA	2,33aA	0,15aA	0,08aA	0,52bA	1,93aA
14	3,02aA	5,12aB	0,77bA	1,55aA	0,03aA	0,10aA	0,29aA	0,24aB
16	2,20bB	5,12aB	0,75bA	1,55aA	0,03aA	0,10aA	0,23aA	0,24aB
17	1,80bB	2,67aA	0,88aA	1,02aA	0,08aA	0,07aA	0,18bA	0,26aA
19	2,78bA	3,32aA	1,02aA	0,83aA	0,07aB	0,06aA	0,33aA	0,18bB
26	3,45aA	0,85bB	1,08aA	0,87aA	0,03aA	0,09aA	0,27aA	0,17aA

Médias seguidas por letras minúsculas idênticas na horizontal (entre AC e AR) e por letras maiúsculas idênticas na vertical (entre 0-20 e 20-40) não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Nas áreas cultivadas, Ca e Mg são introduzidos ao solo pela calagem, principalmente pelo uso do calcário dolomítico, o qual contém elevados teores de Mg (Araujo et al., 2000).

Diferenças nos teores de Mg (Tabela 6) entre as AC e AR foram encontradas nas áreas com 7, 8, 10 e 19 anos, na profundidade de 0-20 cm, e nos TC 8 e 10 anos, na profundidade de 20-40 cm. Quanto a dinâmica do Mg em profundidade, não foram verificadas diferenças significativas nos dois ambientes avaliados. Nas duas profundidades, maiores teores de Mg foram observados nas AR das áreas com 6, 11, 14 e 16 anos quando comparadas as AC. De acordo com os níveis de interpretação para os teores de Mg no solo elaborados pela Embrapa Semi-Árido (Faria et al., 2007), 9% das áreas cultivadas apresentaram nível baixo e 91%, nível médio de Mg no solo. Nas AR, 27% das áreas apresentaram nível baixo, 36,5% nível médio e 36,5% com nível alto de Mg no solo.

Os teores de Na no solo não apresentaram diferenças significativas para a maioria dos tempos de cultivo estudados (Tabela 6). Os teores de Na encontrados são relativamente baixos, não apresentando características sódicas.

O aumento nos teores de K nas áreas sob cultivo é o resultado da aplicação de fertilizantes (Tabela 6). A redução nos teores de K nos TC de 16 e 17 anos pode ser explicado, pelo fato de que os adubos são aplicados, normalmente, na época de produção (Tabela 2), e os solos, quando foram coletados, não estavam na época de produção da cultura. A área de 11 anos não pode ser justificada pelo manejo agrícola, pois, os teores de K encontrados na área de referência são muito elevados, sendo 5 vezes maior do que o valor considerado muito alto ($>0,40 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), em ambas as profundidades, pela Embrapa Semi-Árido (Faria et al., 2007). Para a maioria das áreas cultivadas não houve diferenças significativas para o teor de K com a profundidade, tal fato é explicado pelo movimento do K para a subsuperfície por meio da água da irrigação, prática diária adotada por todas as propriedades. Já os maiores teores de K na Caatinga foram encontrados em superfície, o que pode ser justificado pela menor influência de lixiviação devido às baixas precipitações pluviométricas.

As áreas com tempo de cultivo de 7, 8, 9, 10 e 26 anos, em ambas as profundidades, apresentaram aumento na soma de bases (SB) em relação às áreas de referência (Tabela 7), o que é justificado pela adição de fertilizantes e corretivos ao solo. Quanto ao efeito da profundidade foram encontradas diferenças estatísticas, em ambos os ambientes, na maioria dos tempos de cultivo avaliados, com redução dos teores de SB à medida que aumenta a profundidade. Segundo Araujo et al. (2000), a qualidade do solo para o crescimento das plantas está relacionado com a proporção de bases no complexo de troca do solo. Os

resultados mostraram que a saturação por bases (V%) foi significativamente maior na AC, do que nas AR, nas duas profundidades. Resultados contrários podem ser encontrados na literatura, como os obtidos por Sanches et al. (1999), que encontrou maiores valores de V% no solo sob mata em comparação com área de cultivo com citros, que foi associado a redução do pH das áreas sob cultivo de citros provocados pela adubação com fontes nitrogenadas.

Tabela 7. Atributos químicos (SB, CTC_{total} e V) de solos com diferentes tempos de cultivo, em áreas de cultivo (AC) e de referência (AR) nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm

TC anos	SB		CTC _{total}		V	
	cmol _c dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³		%	
	AC	AR	AC	AR	AC	AR
Profundidade 0-20 cm						
6	4,86bA	8,35aA	6,09bA	10,11aB	79,59aA	82,58aA
7	5,77aA	1,21bA	6,63aA	3,14bA	87,28aA	38,59bA
8	6,57aA	1,60bA	7,10aA	5,00bA	92,50aA	31,71bA
9	4,27aA	3,22bA	4,99aA	3,91bA	85,70aA	82,46aA
10	5,09aA	1,68bA	5,67aA	4,12aA	89,50aA	40,83bA
11	6,04bA	8,81aB	7,14aA	9,71aB	84,79bA	90,66aA
14	4,52bA	9,68aA	5,56bA	17,38aA	81,36aA	55,70bA
16	5,11bA	9,68aA	5,89bA	17,38aA	86,46aA	55,71bA
17	4,50aA	4,08aA	5,29bA	6,44aA	85,02aA	63,30bA
19	6,47aA	4,54aA	7,05aA	6,54aA	91,59aA	69,32bA
26	7,16aA	2,38bA	7,65aA	6,25aA	93,76aA	37,93bA
Profundidade 20-40 cm						
6	4,31bA	8,59aA	5,82bA	10,65aA	73,98bA	80,64aB
7	3,58aB	0,41bB	4,22aB	1,84bB	84,83aA	22,31bB
8	4,64aA	0,87bB	5,01aA	2,79bB	92,32aA	31,00bA
9	2,70aB	2,27bB	3,45aB	3,07aB	78,38aB	74,03aB
10	3,55aA	1,18bB	4,08aA	3,68aB	87,07aA	31,98bB
11	5,36bA	9,57aA	6,54bA	10,50aA	81,87bA	91,11aA
14	4,10bA	7,01aB	4,97bA	14,10aB	81,33aA	49,69bB
16	3,21bB	7,01aB	4,02bB	14,10aB	79,59aA	49,69bB
17	2,95bB	4,02aA	3,85bB	6,26aA	76,60aB	64,07bA
19	4,20aB	4,39aA	4,75bB	6,25aA	88,39aA	70,12bA
26	4,84aA	1,97bA	5,56aA	6,26aA	87,09aA	31,53bA

Médias seguidas por letras minúsculas idênticas na horizontal (entre AC e AR) e por letras maiúsculas idênticas na vertical (entre 0-20 e 20-40) não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P <0,05).

A CTC total ou potencial teve comportamento bem diferenciado entre os ambientes AC e AR (Tabela 7). As áreas com 7, 8 e 9 anos de cultivo, na profundidade de 0-20 cm e as áreas com 7 e 8 anos de cultivo, na profundidade de 20-40 cm obtiveram maiores valores nas AC em comparação com as AR, corroborando o que Costa (2009) observou, em virtude das bases trocáveis oriundas da calagem e dos teores de MO, que se diferenciaram nas áreas com 7 e 8 anos. As áreas com 6, 14, 16 e 17 anos, nas duas profundidades e a área com 19 anos na camada subsuperficial (20-40 cm) apresentaram situação inversa, com maiores valores nas AR em relação as AC, o que pode ser justificado pelos maiores teores de MO e de H+Al, concordando com os resultados obtidos por Araujo et al. (2000), Sanches et al. (1999) e Corrêa et al. (2001). Segundo Sanchez (1981) um dos fatores que determinaram essa diferença é a redução do teor de MO do solo da área de cultivo, com conseqüente redução dos sítios de troca. Para Brams (1971), a diminuição da CTC pode ser atribuída a alterações na quantidade de MO e no pH, principalmente em áreas com longos períodos de cultivo. Em relação ao efeito da profundidade, ocorreram diferenças estatísticas nos dois ambientes para a maioria das áreas estudadas, com redução dos valores da CTC, na maioria dos TC, à medida que aumenta a profundidade. Essa redução é devido, principalmente, a diminuição dos teores de MO em profundidade, como observado por Brams (1971) e Sanches et al. (1999).

A matéria orgânica apresentou correlações positivas e significativas nas áreas de cultivo, especialmente com o Ca, nas duas profundidades (Tabelas 8 e 9). Na área de referência (AR) as correlações positivas foram com H+Al, Ca, Mg, Na, SB e CTC total e efetiva, em ambas as profundidades e correlação negativa com a m% na profundidade de 20-40 cm. A alta correlação positiva entre MO x CTC evidencia a participação da MO no aumento da CTC do solo, já que a MO aumenta as cargas negativas do solo, contribuindo para a maior retenção de bases trocáveis no solo. Resultados semelhantes são descritos por Frazão et al. (2008) e Siqueira Neto et al. (2009). Segundo Barreto et al. (2003), a MO tem papel importante na ciclagem de nutrientes, além de contribuir para elevar a CTC dos solos tropicais. Araujo et al. (2000) afirmam que o valor da CTC, em solos cultivados, deve ser utilizado com reservas quando estimado a partir dos resultados da análise de solo em áreas corrigidas e adubadas, e que, em ecossistemas estáveis (mata), o valor de CTC pode estar mais diretamente relacionado a aspectos qualitativos da mineralogia do solo e à presença de microrganismos, cujas células, são carregadas negativamente na superfície. Entre MO x V, foi encontrada correlação na AC, porque a saturação por bases é um reflexo do aumento das

bases trocáveis no solo, provenientes dos adubos e corretivos.

A correlação entre MO e P foi significativa na profundidade de 0-20 cm e altamente significativa na profundidade de 20-40 cm na AC (Tabelas 8 e 9), mostrando que houve a mobilidade de P para camadas mais profundas, devido, possivelmente, ao deslocamento vertical de P nas formas orgânicas e inorgânicas, provocadas pela baixa capacidade de adsorção de P desses solos arenosos (Rheinheimer et al., 2003; Galvão et al., 2008).

Tabela 8. Coeficientes de correlação linear de Pearson entre os atributos químicos do solo em áreas de cultivo (AC) e áreas de referência (AR) na profundidade de 0-20 cm

	Áreas	pH	MO	P	H+AL	Ca	Mg	Al	K
MO	AC	0,14 ^{ns}	-	0,44*	0,03 ^{ns}	0,79**	0,28 ^{ns}	-0,28 ^{ns}	0,29 ^{ns}
	AR	-0,11 ^{ns}	-	-0,17 ^{ns}	0,92**	0,80**	0,50**	-0,11 ^{ns}	-0,01 ^{ns}
P	AC	0,19 ^{ns}	0,44*	-	-0,06 ^{ns}	0,54**	0,15 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	0,19 ^{ns}
	AR	0,73**	-0,17 ^{ns}	-	-0,41*	0,06 ^{ns}	0,21 ^{ns}	-0,35*	0,83**
H+AL	AC	-0,82**	0,03 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	-	-0,27 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	0,38*	0,28 ^{ns}
	AR	-0,46**	0,92**	-0,41*	-	0,59**	0,32 ^{ns}	0,24 ^{ns}	-0,22 ^{ns}
Ca	AC	0,47**	0,79**	0,54**	-0,27 ^{ns}	-	0,15 ^{ns}	-0,40*	0,12 ^{ns}
	AR	0,36*	0,80**	0,06 ^{ns}	0,59**	-	0,82**	-0,49**	0,30 ^{ns}
Mg	AC	-0,01 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,15 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	0,15 ^{ns}	-	0,17 ^{ns}	0,33 ^{ns}
	AR	0,39*	0,50**	0,21 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,82**	-	-0,39*	0,57**
Na	AC	0,12 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,04 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,32 ^{ns}
	AR	0,24 ^{ns}	0,35*	0,18 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,47**	0,27 ^{ns}	-0,30 ^{ns}	0,29 ^{ns}
K	AC	-0,24 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,39*	-
	AR	0,62**	-0,01 ^{ns}	0,83**	-0,22 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,57**	-0,35*	-
SB	AC	0,38*	0,82**	0,54**	-0,22 ^{ns}	0,93**	0,47**	-0,24 ^{ns}	0,35*
	AR	0,46**	0,70**	0,24 ^{ns}	0,47**	0,97**	0,91**	-0,51**	0,51**
CTC _T	AC	0,16 ^{ns}	0,84**	0,54**	0,04 ^{ns}	0,88**	0,45**	-0,15 ^{ns}	0,44*
	AR	0,09 ^{ns}	0,92**	-0,04 ^{ns}	0,80**	0,94**	0,77**	-0,23 ^{ns}	0,24 ^{ns}
CTC _{ef}	AC	0,37*	0,81**	0,54**	-0,21 ^{ns}	0,92**	0,48**	-0,22 ^{ns}	0,36*
	AR	0,43*	0,71**	0,23 ^{ns}	0,49**	0,97**	0,91**	-0,47**	0,51**
V	AC	0,81**	0,34*	0,25 ^{ns}	-0,90**	0,59**	0,33 ^{ns}	-0,43*	-0,05 ^{ns}
	AR	0,94**	-0,04 ^{ns}	0,64**	-0,38*	0,48**	0,54**	-0,78**	0,59**
m	AC	-0,57**	-0,29 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	0,37*	-0,41*	0,14 ^{ns}	0,99**	0,34*
	AR	-0,79**	-0,33 ^{ns}	-0,34*	0,01 ^{ns}	-0,71**	-0,55**	0,91**	-0,36*

*, ** e ns: significativos a 5 e 1% de probabilidade pelo teste Tukey, e não significativo, respectivamente

O teor de Ca no solo apresentou correlações positivas na AC com o teor de P, SB, CTC total e efetiva e V%, nas duas profundidades (Tabelas 8 e 9), e correlação negativa com

m% na camada superficial. Na AR, correlações positivas foram encontradas entre o teor de Ca no solo e os teores de H+Al, Mg e Na, e SB, CTC total e efetiva e V%, em ambas as profundidades e negativa com m%, nas duas profundidade. A correlação entre teor de Ca e P no solo da AC, está associada à precipitação de fosfato de cálcio no solo. A predominância de

Tabela 9. Coeficientes de correlação linear de Pearson entre os atributos químicos do solo em áreas de cultivo (AC) e áreas de referência (AR) na profundidade de 20-40 cm

	Áreas	pH	MO	P	H+AL	Ca	Mg	Al	K
MO	AC	0,30 ^{ns}	-	0,72 ^{**}	0,01 ^{ns}	0,87 ^{**}	0,21 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,36 [*]
	AR	-0,05 ^{ns}	-	-0,05 ^{ns}	0,89 ^{**}	0,67 ^{**}	0,45 ^{**}	-0,16 ^{ns}	0,06 ^{ns}
P	AC	0,15 ^{ns}	0,72 ^{**}	-	0,09 ^{ns}	0,71 ^{**}	0,27 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	0,28 ^{ns}
	AR	0,67 ^{**}	-0,05 ^{ns}	-	-0,34 [*]	0,33 ^{ns}	0,45 ^{**}	-0,30 ^{ns}	0,94 ^{**}
H+AL	AC	-0,88 ^{**}	0,01 ^{ns}	0,09 ^{ns}	-	-0,09 ^{ns}	0,45 ^{**}	0,30 ^{ns}	0,63 ^{**}
	AR	-0,45 ^{**}	0,89 ^{**}	-0,34 [*]	-	0,38 [*]	0,20 ^{ns}	0,25 ^{ns}	-0,23 ^{ns}
Ca	AC	0,34 [*]	0,87 ^{**}	0,71 ^{**}	-0,09 ^{ns}	-	0,07 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,33 ^{ns}
	AR	0,55 ^{**}	0,67 ^{**}	0,33 ^{ns}	0,38 [*]	-	0,90 ^{**}	-0,54 ^{**}	0,52 ^{**}
Mg	AC	-0,26 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,45 ^{**}	0,07 ^{ns}	-	0,32 ^{ns}	0,67 ^{**}
	AR	0,54 ^{**}	0,45 ^{**}	0,45 ^{**}	0,20 ^{ns}	0,90 ^{**}	-	-0,37 [*]	0,66 ^{**}
Na	AC	-0,20 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	-0,34 [*]	0,13 ^{ns}	-0,19 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,41 [*]	0,17 ^{ns}
	AR	-0,12 ^{ns}	0,43 [*]	0,02 ^{ns}	0,44 [*]	0,27 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,12 ^{ns}
K	AC	-0,39 [*]	0,36 [*]	0,28 ^{ns}	0,63 ^{**}	0,33 ^{ns}	0,67 ^{**}	0,49 ^{**}	-
	AR	0,65 ^{**}	0,06 ^{ns}	0,94 ^{**}	-0,23 ^{ns}	0,52 ^{**}	0,66 ^{**}	-0,31 ^{ns}	-
SB	AC	0,14 ^{ns}	0,85 ^{**}	0,71 ^{**}	0,15 ^{ns}	0,90 ^{**}	0,48 ^{**}	0,24 ^{ns}	0,63 ^{**}
	AR	0,60 ^{**}	0,57 ^{**}	0,49 ^{**}	0,27 ^{ns}	0,98 ^{**}	0,95 ^{**}	-0,51 ^{**}	0,67 ^{**}
CTC _t	AC	-0,13 ^{ns}	0,77 ^{**}	0,67 ^{**}	0,43 [*]	0,79 ^{**}	0,57 ^{**}	0,31 ^{ns}	0,76 ^{**}
	AR	0,22 ^{ns}	0,87 ^{**}	0,18 ^{ns}	0,71 ^{**}	0,91 ^{**}	0,80 ^{**}	-0,24 ^{ns}	0,38 [*]
CTC _{ef}	AC	0,13 ^{ns}	0,84 ^{**}	0,70 ^{**}	0,16 ^{ns}	0,90 ^{**}	0,48 ^{**}	0,26 ^{ns}	0,64 ^{**}
	AR	0,56 ^{**}	0,59 ^{**}	0,48 ^{**}	0,31 ^{ns}	0,97 ^{**}	0,96 ^{**}	-0,43 [*]	0,67 ^{**}
V	AC	0,87 ^{**}	0,48 ^{**}	0,33 ^{ns}	-0,80 ^{**}	0,59 ^{**}	-0,10 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	-0,15 ^{ns}
	AR	0,90 ^{**}	0,07 ^{ns}	0,60 ^{**}	-0,29 ^{ns}	0,71 ^{**}	0,69 ^{**}	-0,70 ^{**}	0,64 ^{**}
m	AC	-0,33 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	0,25 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,94 ^{**}	0,34 [*]
	AR	-0,72 ^{**}	-0,43 [*]	-0,35 [*]	-0,10 ^{ns}	-0,81 ^{**}	-0,62 ^{**}	0,74 ^{**}	-0,39 [*]

*,** e ns: significativos a 5 e 1% de probabilidade pelo teste Tukey, e não significativo, respectivamente

Ca entre os cátions trocáveis nos ambientes AC e AR determinou as correlações com os atributos SB, CTC e V%. A correlação positiva entre Ca e H+Al na AR não significa que um atributo está ligado ao outro, pois, normalmente, a ligação entre eles se dá por correlação negativa. Possivelmente, coincidiu de em algumas áreas os teores de Ca serem maiores nas

AR (Tabela 5), corroborando com os maiores teores de H+Al nas AR. Nas áreas cultivadas, o teor de Mg no solo apresentou correlações positivas com SB e CTC total e efetiva, na profundidade de 0-20 cm, e com H+Al, K, SB e CTC total e efetiva, na profundidade de 20-40 cm. Na AR, as correlações positivas foram com K, SB, CTC total e efetiva e V%, e negativa com m%, nas duas profundidades, e com o P na camada subsuperficial. A ausência de correlação entre os teores de Mg do solo e V% nas áreas cultivadas diverge das correlações altamente significativas entre essas variáveis encontradas por Araujo et al. (2000), estudando áreas sob cultivo de mandioca, que atribuiu a essa correlação os altos teores de Mg, provenientes do material de origem do solo e dos fertilizantes e corretivos, e por Silva et al. (2007), estudando áreas sob cultivo de laranja, em que práticas como a calagem são bastante usadas nesses tipos de cultivo. A correlação positiva entre Mg e K, na AR, pode estar relacionada com a ciclagem de nutrientes (Reis et al., 1987, Araujo et al., 2000).

3.2. Teores de nutrientes nas folhas

Os teores dos macronutrientes nas folhas da planta na fase vegetativa obedeceram, de forma geral na maioria das áreas avaliadas, a seguinte ordem: Ca>N>K>Mg>P (Tabela 10). Esses resultados assemelham-se aos de Medeiros et al. (2005). E diferiram dos encontrados por Galli et al. (2009), que analisando folhas de manga, também na fase vegetativa, encontraram teores de macronutrientes na ordem de N>Ca>K>P>S>Mg. Deve-se ressaltar que essa última sequência, foi encontrada em apenas uma área de cultivo, a de 7 anos.

Os teores de N das folhas apresentaram-se excessivos ($>16,0 \text{ g kg}^{-1}$) para as áreas de 6, 9 e 11 anos, de acordo com os valores estabelecidos por Quaggio (1996). Somente duas áreas (7 e 16 anos) tiveram os valores de N dentro da faixa de teores adequados, enquanto que as demais áreas mostraram valores ligeiramente acima da faixa de teores adequados. Os altos valores encontrados na maioria das áreas são devidos as plantas estarem na fase vegetativa e pela prática agrícola de adubação orgânica adotada pela maioria das empresas. Segundo Galli et al. (2009) a concentração de N é alta no período vegetativo e diminui nas fases subsequentes. Vale ressaltar que estas variações nos teores de N podem ocorrer de um ano para o outro e também a idade da planta pode influenciar na concentração desse nutriente, conforme indica Klein (1980) em pomares de maçã. Este elemento influencia no crescimento vegetativo e no número de gemas florais produtivas da mangueira (Albuquerque et al., 1999).

O excesso de N provoca problemas na cultura, como o crescimento vegetativo excessivo, apresenta dificuldade na diferenciação floral, perda de produção e qualidade dos frutos em virtude do colapso interno, além de aumentar a suscetibilidade a doenças (Pinto et al., 2007). Pinto (2000) relata que, no Brasil, pomares de mangueira com teor de N foliar $> 12 \text{ g kg}^{-1}$ tendem a ter maior incidência de frutos com coloração da casca verde, que diminui o valor do fruto no mercado.

Tabela 10. Teores de macronutrientes em folhas de manga, cultivadas no Vale do São Francisco em diferentes tempos de cultivo.

TC anos	g kg ⁻¹				
	N	Ca	Mg	K	P
6	16,58	16,34	1,81	17,98	3,03
7	14,00	14,79	2,16	10,90	2,32
9	17,95	17,89	2,24	12,44	2,79
10	15,21	23,64	2,22	11,17	1,93
11	16,44	19,73	2,15	10,57	1,94
14	14,77	16,68	1,97	10,37	1,70
16	12,61	20,73	2,07	10,50	1,53
17	14,25	17,18	2,19	11,77	1,91
19	15,92	12,09	1,80	13,77	2,59
26	15,19	18,61	1,78	11,57	2,13
Faixa de Teores					
Deficiente	<8,0	<15,0	<1,0	<2,5	<0,5
Adequado	12,0-14,0	20,0-35,0	2,5-5,0	5,0-10,0	0,8-1,6
Excessivo	>16,0	>50,0	>8,0	>12,0	>2,5

Quaggio (1996)

Nos tempos de cultivo com 10 e 16 anos, os teores de cálcio estão dentro da faixa de valores adequados (Tabela 10), enquanto que nas áreas com 7 e 19 anos, os teores estão abaixo da faixa de valores deficientes considerados por Quaggio (1996). Nas outras áreas foram constatadas concentrações de Ca entre as faixas de teores deficientes e adequados. Galli et al. (2009), Rozane et al. (2007) e Silva & Lima (2001), também encontraram teores desse elemento menores que os adequados. Esses baixos teores nas folhas encontrados na maioria das áreas são justificados pela fase vegetativa das plantas, já que os teores de Ca aumentam na fase de formação dos frutos (Avilan, 1971).

O Ca tem como característica ser imóvel na planta, portanto, tem necessidade de ser

fornecido constantemente para a cultura. Nas áreas estudadas, evidencia-se a aplicação de calcário e gesso, como parte do manejo agrícola da maioria das propriedades (Tabela 2). Pinto et al. (2002) afirmam que entre os macronutrientes, o Ca é o mais limitante para a produção de manga, pois em baixas concentrações pode provocar desordens fisiológicas nos frutos.

Foi verificado que a relação N/Ca está maior que 0,5 em todas as áreas avaliadas, variando de 0,61 a 1,32. Esses altos valores da relação deixam os frutos de variedades monoembrionicas, aptos a desenvolverem sintomas de desordens fisiológicas, como o colapso interno do fruto (Silva et al., 2008). O efeito da relação N/Ca foi descrito por Young & Miner (1961) como indicador da incidência de “soft nose” (amolecimento da polpa), que sugerem o valor de 0,5 como limite superior de tal relação. Resultados semelhantes foram encontrados por Assis et al. (2004) e Silva et al. (2008).

Quanto aos teores de Mg, foi verificado que em todas áreas estudadas encontraram-se abaixo da faixa de teores adequados (Tabela 10), porém não sendo considerados deficientes por estarem acima dessa faixa. Baixos valores de Mg na folha de manga também foram verificados por Rozane et al. (2007), Assis et al. (2004) e Galli et al. (2009). Esse elemento é integrante da molécula da clorofila e ativador de diversas enzimas, além de ser essencial para a absorção de P. Porém, sua absorção é inibida em altas concentrações de K na planta (Magalhães & Borges, 2000). O que pode ter ocorrido nesse trabalho, uma vez que foram encontrados altos teores de K nas folhas.

As áreas com 6, 9 e 19 anos apresentaram concentrações de K nas folhas acima da faixa excessiva, enquanto que as outras áreas mostraram valores acima da faixa de teores adequados e abaixo de teores excessivos. Esses altos valores são em consequência das aplicações de fertilizantes potássicos, principalmente o Sulfato de Potássio, utilizado na maioria das empresas (Tabela 2). Os teores de K encontrados coincidem com aqueles publicados por Rozane et al. (2007). Assim como o N, os elevados teores K também foram influenciados pelo estado fenológico da planta. Medeiros et al. (2005) relatam que, no florescimento, os teores de K são frequentemente superiores aos das outras fases fenológicas da cultura da manga.

Nas áreas com 6, 9 e 19 anos as concentrações de P estão acima da faixa considerada excessiva, enquanto que as outras áreas estão com os valores entre a faixa de teores adequados e a de teores excessivos. Resultados semelhantes foram encontrados por Galli et al.

(2009). Os altos teores encontrados são resultado das adubações realizadas e comprovados pelos altos teores encontrados também nos solos das áreas de cultivo (Tabela 5). Analogamente ao N e K, o P tem tendência de diminuir seus teores de acordo com o estado fenológico da cultura.

4. CONCLUSÕES

1. Os manejos agrícolas adotados pelas empresas promoveram alterações na fertilidade dos solos quando comparados com os solos das áreas de referência.
2. As variáveis adotadas para avaliar a fertilidade dos solos cultivados possibilitaram identificar excesso de fósforo no solo, o que pode contribuir com desequilíbrios nutricionais e com contaminação dos mananciais de água.
3. As mudanças ocorridas no solo estão bem correlacionadas com os teores de matéria orgânica do solo. Sendo o atributo de maior relevância para esses solos, uma vez que está relacionado à retenção e fornecimento de diversos nutrientes.
4. Os teores de macronutrientes nas folhas de mangueira foram nutricionalmente adequados, com exceção do Ca e Mg, cujas concentrações foliares foram abaixo do exigido para a cultura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J. A. S. de; MOUCO, M. A. do C.; MEDINA, V. D.; SANTOS, C. R. dos; TAVARES, S. C. C. de H. **O cultivo da mangueira irrigada no semiárido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semiárido/VALEEXPORT, 77p, 1999.

ALMEIDA, J. A. de. et al. Propriedades químicas de um cambissolo húmico sob preparo convencional e Semeadura direta após seis anos de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 437-445, 2005.

ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A; WATANABE, S. H.; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. S.; MATA, J. D. V. Avaliação do impacto do cultivo nas características químicas e na agregação de um latossolo vermelho distrófico do noroeste do Paraná. **Acta Scientiarum**, v. 22, n. 4, p. 1045-1053, 2000.

ASSIS, J. S.; SILVA, D. J.; MORAES, P. L. D. Equilíbrio nutricional e distúrbios fisiológicos em manga 'Tommy Atkins'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal-SP, v. 26, n. 2, p. 326-329, 2004.

AVILAN, R. L. Variaciones de los niveles de nitrogen, fosforo, potassio y calcio en las hojas de mango (*Mangifera indica* L.) através de un ciclo de producción. **Agronomia Tropical**, Maracay, v.21, n.1, p.3-10, 1971.

BARRETO, J. A.; DANTAS, A. P.; SILVA, A. P.; PAIVA, A. P. Q. C. Propriedades químicas dos solos cultivados com maracujazeiro na Serra do Cuité, estado da Paraíba. **Agropecuária Técnica**, v. 24, n. 1, p. 13-22, 2003.

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**, v. 21, p. 341-345, 1997.

BRAMS, E. A. Continuous cultivation of West African soils: organic matter diminution and effects of applied lime and phosphorus. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 35, p. 401-414, 1971.

CORRÊA, M. C. DE M.; CONSOLINI, F.; CENTURION, J. F. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho Distrófico sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 5, p. 1159-1163, 2001.

COSTA, W. P. L. B. **Alterações na fertilidade do solo e teores de metais pesados em solos cultivados com videira**. Dissertação de Mestrado, PPG-Ciência do Solo, UFRPE, 80 p, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 370p, 1999.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manga, Produção, Aspectos Técnicos**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 63p, 2000.

FALLEIRO, R. M.; SOUZA, C. M.; SILVA, C. S. W.; SEDIYAMA, C. S.; SILVA, A. A.; FAGUNDES, J. L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 6, p. 1097-1104, 2003.

FARIA, C. M. B. de.; SILVA, M. S. L. da.; SILVA, D. J. **Alterações em características de solos do Submédio São Francisco sob diferentes sistemas de cultivo**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido (Embrapa Semi-Árido. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 74), 33p, 2007.

FRAZÃO, L. A.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado mato-grossense. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 43, n. 5, p. 641-648, 2008.

GALLI, J. A.; SILVEIRA, L. C. P.; MICHELOTTO, M. D.; MARTINS, A. L. M. Avaliação da incidência de antracnose, do desempenho e estado nutricional de variedades de mangueira, para cultivo orgânico, na região centro-norte do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal-SP, v. 31, n. 3, p. 701-709, 2009.

GALVÃO, S. R. S.; SALCEDO, I. H.; OLIVEIRA, F. F. Acumulação de nutrientes em solos arenosos adubados com esterco bovino. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 43, n. 1, p. 99-105, 2008.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE PERNAMBUCO – IPA. **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2ª aproximação**. 3. ed. revisada/coordenado por Francisco José de Albuquerque Cavalcanti, Recife, 212p. il. 2008.

KLEIN, I. Growth and mineral accumulation of apple trees. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v. 92, p. 298, 1980.

MAGALHÃES, A. F. J.; BORGES, A. L. Calagem e Adubação. In: MATOS A. P. de (org.). **Manga Produção: aspectos técnicos**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia (Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia: Frutas do Brasil; 4), 63 p, 2000.

MAIA, J. L. T.; RIBEIRO, M. R. Cultivo contínuo da cana-de-açúcar e modificações químicas de um Argissolo Amarelo fragipânico. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1127-1132, 2004.

MEDEIROS, A. A.; AMORIM, J. R. A.; SILVA, D. J.; GUEDES, F. X.; GUERRA, A. G.; DANTAS, J. A. **Composição mineral de folhas e exportação de nutrientes pelos frutos de mangueira, em cultivo irrigado, no Rio Grande do Norte**. EPARN, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 13p, 2005.

PEREIRA, W. L. M.; VELOSO, C. A. C.; GAMA, J. R. N. F. Propriedades químicas de um latossolo amarelo cultivado com pastagens na Amazônia oriental. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 3, p. 531-537, 2000.

PINTO, A. C. de Q. **Teorática no cultivo da manga: sinopse**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 39p, 2000.

PINTO, A. C. de Q. A produção, o consumo e a qualidade da manga no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 597, 2002.

PINTO, A. C. de Q.; SILVA, D. J.; PINTO, P. A. C. 7. Mangueira. In: International Potash Institute, Boletim 18, Fruteiras Tropicais do Brasil. Embrapa, 2007. Disponível em: <<http://www.ipipotash.org/publications/detail.php?i=297>>, acessado em: jun de 2010.

QUAGGIO, J. A. Adubação e calagem para mangueira e qualidade dos frutos. p. 106-135. In: São A. R. José, I. V. B. Souza, J. Martins Filho, and O. M. Morais (ed.) **Manga, tecnologia de produção e mercado**. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 1996.

REIS, M. G. F.; BARROS, N. F.; KIMMINS, J. P. Acúmulo de nutrientes em uma seqüência de idade de *Eucalyptus grandis* W. Hill (ex-Maiden) plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades, em Minas Gerais. **Rev. Árvore**, v. 11, n. 1, p. 1-15, 1987.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; CONTE, E.; KAMINSKI, J.; GATIBONI, L. C. Dessorção de fósforo avaliada por extrações sucessivas em amostras de solo provenientes dos sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, v.33, p.1053-1059, 2003.

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

ROZANE, D. E.; NATALE, W.; PRADO, R. M.; BARBOSA, J. C. Amostragem para diagnose do estado nutricional de mangueiras. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal-SP, v. 29, n. 2, p. 371-376, 2007.

RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 297-300, 2005.

SANCHES, A. C.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; RIGOLIN, A. T. Impacto do cultivo de citros em propriedades químicas, densidade do solo e atividade microbiana de um Podzólico vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 91-99, 1999.

SANCHEZ, P. A. **Suelos del Trópico: características y manejo**. San José, Costa Rica: IICA, 660p, 1981.

SANTOS, E. E. F.; RIBEIRO, M. R. Influência da irrigação e do cultivo nas propriedades químicas de solos da região do submédio São Francisco. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1507-1516, 2002.

SAS INSTITUTE (1999) Statistical analysis system: procedure guide for personal computer. Cary.

SHARPLEY, A. N.; DANIEL, T. C.; SIMS, J. T. & POTE, D. H. Determining environmentally sound soil phosphorus levels. **J. Soil Water Conserv.**, 51:160-166, 1996.

SILVA, A. C., TORRADO, P. V., ABREU JUNIOR, J. de S. Métodos de quantificação da matéria orgânica do solo. **R. Un. Alfenas**, Alfenas, 5:21-26, 1999.

SILVA, D. J. **Nutrição e Adubação da Mangueira em Sistema de Produção Integrada**. Circular Técnica – EMBRAPA, Petrolina-PE, 2008.

SILVA, D. J.; ARAÚJO, C. A. de S. Agricultura irrigada: a importância da adubação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Anais...** Recife: SBCS, 2005. 1 CD-ROM.

SILVA, D. J.; LIMA, M. F. Influência de húmus de minhoca e de esterco de gado na concentração foliar de nutrientes e na produção de manga ‘Tommy Atkins’. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal-SP, v. 23, n. 3, p. 748-751, 2001.

SILVA, D. J.; CHOUDHURY, M. M.; MENDES, A. M. S.; DANTAS, B. F. Efeito da aplicação pré-colheita de cálcio na qualidade e no teor de nutrientes de manga ‘Tommy Atkins’. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal-SP, v. 30, n. 1, p. 074-078, 2008.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S. Matéria orgânica no solo. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. **Biologia dos solos no cerrado**. Planaltina: Embrapa-Cpac, p. 467-542, 1997.

SILVA, M. A. C.; NATALE, W.; PRADO, R. M.; CORRÊA, M. C. M.; STUCHI, E. S.; ANDRIOLI, I. Aplicação superficial de calcário em pomar de laranja pêra em produção. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal-SP, v. 29, n. 3, p. 606-612, 2007.

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

SOBER – Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. 47º Congresso. **Desenvolvimento rural e sistemas agroalimentares**: os agronegócios no contexto de integração das nações, Porto Alegre, 26 a 30 de julho de 2009.

THEODORO, V. C. A.; ALVARENGA, M. I. N.; GUIMARÃES, R. J. SOUZA, C. A. S. Alterações químicas em solo submetido a diferentes formas de manejo do cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 1039-1047, 2003.

USEPA - United States Environmental Protection Agency. **Method 3051a** – Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. 1998. Revision 1 Feb 2007. 30p. Disponível em <<http://www.epa.gov/epawaste/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3051a.pdf>> acessado em: 25 fev. 2010.

YOUNG, T. W.; MINER, J. T. Relationship of nitrogen and calcium to “soft-nose” disorder in mango fruits. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 78, p. 201-208, 1961.

CAPÍTULO II

**TEORES DE METAIS PESADOS EM SOLOS CULTIVADOS COM
MANGUEIRA EM PETROLINA-PE**

TEORES DE METAIS PESADOS EM SOLOS CULTIVADOS COM MANGUEIRA EM PETROLINA-PE

RESUMO: O monitoramento dos teores de metais pesados nas áreas com uso intensivo de insumos agrícolas é de grande importância para a sustentabilidade agrícola e para a segurança alimentar. O objetivo deste trabalho foi avaliar os teores totais de metais pesados em solo e planta em áreas de mangueira com diferentes tempos de cultivo em Petrolina (PE). Foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm e de folhas da mangueira na fase vegetativa em áreas com 6, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 16, 17, 19 e 26 anos de cultivo. Áreas de vegetação nativa, adjacentes as áreas cultivadas, foram utilizadas para comparação. Foram determinados os teores totais de solo e planta, dos metais pesados Cu, Cr, Fe, Zn, Mn, Cd, Ni, e Pb. Os dados foram analisados por meio da aplicação do teste F à análise de variância, e por meio de análises de correlação e Teste de Tukey. O cultivo de mangueira proporcionou acúmulo superficial dos metais Cu e Zn e redução dos teores de Ni, Pb, Mn, Cr e Fe, tanto em superfície como em subsuperfície. As áreas cultivadas apresentaram contaminação dos metais pesados Cu, Ni, Zn e Cr, devendo ser feitos monitoramentos nessas áreas para evitar impactos ambientais. Os diferentes tipos de manejos das empresas no cultivo de manga proporcionaram deficiência e excessividade de alguns micronutrientes nas áreas avaliadas. Fe e Mn, no entanto, supriram a nutrição mineral da mangueira em todas as áreas. A presença de Cr nas folhas de mangueira sugere a necessidade de investigação nessas áreas cultivadas.

Palavras-chave: Elementos traços; Insumos agrícolas; Valores orientadores

HEAVY METALS IN SOIL AND PLANTS IN MANGO TREE PLANTATION

ABSTRACT: The monitoring of heavy metal in agricultural areas under intensive chemical inputs has a major importance for the sustainable agriculture and food safety. This study aimed to assess the total heavy metals concentrations in soil and plants in mango tree plantations with different cultivation time spans in Petrolina (Brazil). Samples of soil were collected at the 0-20 and 20-40 cm depths and leaves at the vegetative phase of mango trees in eleven areas with different cultivation time spans (6, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 16, 17, 19, and 26 years). Areas under natural vegetation near to the cultivated areas were taken as reference. The soil and plant concentrations of the heavy metals Cu, Cr, Fe, Zn, Mn, Cd, Ni and Pb were determined. The results showed increases in the Cu and Zn concentration in the soil superficial layer as a function of cultivation time, while the Ni, Pb, Mn, Cr and Fe concentrations were reduced in the two depths. The cultivated areas presented contamination of with the metals Cu, Ni, Zn and Cr. Thus the monitoring of these concentrations are recommended to avoid environmental impacts. The micronutrient Fe and Mn were found to properly meet the plant demand. Chromium in leaves was detected in the majority of the cultivated areas. This point out that studies on Cr uptake must be done in the mango tree plantations.

Words-key: Trace elements; agricultural supplies; guiding values.

1. INTRODUÇÃO

A fruticultura brasileira ocupa posição de destaque nos cenários nacional e mundial, respondendo por cerca de 25% e 10% , respectivamente, da produção agrícola nestes cenários (Medeiros et al., 2005; Lacerda et al., 2004). Neste contexto, a manga (*Mangifera indica* L.) tem se destacado devido ao seu alto valor comercial (Albuquerque et al., 1999). No Nordeste, principalmente no Submédio São Francisco, a manga é um dos principais produtos da economia regional, com produção voltada para o mercado externo (Ribeiro et al., 2009), principalmente para o mercado europeu e norte-americano (Lucafó & Boteon, 2001), e, recentemente, para o asiático. Essa região responde por cerca de 92% das exportações nacionais da fruta (Silva, 2008).

As elevadas produtividades nesta região, em torno de 25 t ha⁻¹ (Silva, 2008), resultam de uma agricultura cada vez mais tecnificada com intensivo emprego de insumos agrícolas. Porém, o aumento na utilização de adubos e defensivos acarreta diversos impactos ambientais, resultantes da contaminação por metais pesados, sais e agrotóxicos que percolam e escoam das áreas de cultivo em direção a mananciais e lençóis freáticos (Berti, 2003), podendo também se acumular nos solos.

Os fertilizantes, por exemplo, apesar de fornecerem nutrientes para as culturas, contêm metais pesados, que são elementos potencialmente tóxicos a saúde humana e ao meio ambiente (Peris et al., 2008). Isso se deve ao fato deste insumo não ser totalmente purificado durante o processo de manufatura, permanecendo os metais pesados como impurezas. Esses elementos, freqüentemente, também fazem parte dos componentes ativos de pesticidas. Deste modo a utilização continuada de fertilizantes e pesticidas apresenta-se como a principal via de introdução de metais em solos agrícolas (Núñez et al., 2006). O uso da adubação orgânica, dependendo da origem, também pode adicionar metais pesado aos solos, provenientes, principalmente, dos aditivos na alimentação animal (O'Neill, 1993; Mendes et al., 2010).

Os metais pesados adicionados por fertilizantes, corretivos e pesticidas acumulam-se em grande parte na camada superficial do solo, o que os torna disponíveis às plantas; em situações de acúmulo, excedem a capacidade de retenção do solo e tornam-se facilmente lixiviáveis, podendo contaminar águas subterrâneas (Stigliani, 1988). Portanto, o monitoramento dos teores de metais pesados em áreas com uso intenso de insumos agrícolas é de grande importância para a sustentabilidade agrícola e para a segurança alimentar (Mendes

et al., 2010).

Os problemas ambientais decorrentes da presença de metais pesados no solo dependem da concentração das formas químicas em que se apresentam nos solos. Portanto, o teor total do metal no solo não é um bom parâmetro para prever a biodisponibilidade (Kumpiene et al., 2007), embora permita obter dados sobre o acúmulo de metais ao longo do tempo.

São escassos na literatura brasileira dados referentes às alterações nas propriedades químicas do solo em função do tempo de cultivo de manga, principalmente em relação ao estudo do comportamento dos metais pesados nesses solos. No entanto, devem ser realizadas pesquisas que avaliem o comportamento desses elementos no sistema solo-planta, com o intuito de encontrar soluções ou métodos de controle que ajudem a monitorar o acúmulo desses metais nos solos e nas plantas, reduzindo os riscos de poluição ambiental (Oliveira et al., 2008).

Neste contexto, devido a importância da cultura da manga para o Brasil, principalmente na região Nordeste, este trabalho objetivou avaliar os teores totais de metais pesados (Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Pb, e Zn) em solo e planta em áreas de mangueira com diferentes tempos de cultivo em Petrolina (PE).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local da coleta

Os solos utilizados para análise foram oriundos de áreas cultivadas com mangueira, localizados no município de Petrolina-PE. Os tempos de cultivo e classificação dos solos de cada uma das áreas encontram-se na (Tabela 1). Informações referentes ao manejo dos plantios avaliados encontram-se nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 1. Identificação das áreas, tempos de cultivo e classificação dos solos cultivados com manga em Petrolina-PE.

Áreas de Coleta	Tempo de Cultivo (TC) - (anos)	Classificação dos solos
AM Export	6	Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico
Andorinha	7	Neossolo Quartzarênico
EBFT	8	Neossolo Quartzarênico
Fazenda Alphavale	9	Neossolo Quartzarênico
Copafruit	10	Latossolo Vermelho-Amarelo
AM Export	11	Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico
Agrobrás	14	Argissolo Vermelho-Amarelo
Agrobrás	16	Argissolo Vermelho-Amarelo
Frutex	17	Neossolo Quartzarênico
UPA	19	Neossolo Quartzarênico
Copafruit	26	Latossolo Vermelho Distrófico

Tabela 2. Área de cultivo, práticas de conservação e manejo de irrigação, adubação mineral aplicadas nos plantios avaliados

TC - anos	Áreas	Área total da propriedade e com manga	Práticas Conservacionistas	Uso anterior do solo	Irrigação	Adubação Inorgânica
6 e 11	AM Export	128 ha, sendo 45 ha com manga	Curvas de nível	Pimenta e côco por 2 anos	Microaspersão realizada diariamente	A lanço sem incorporação e por fertirrigação. Fonte: N/P/K. Aplicado de acordo com a necessidade.
7	Andorinha	150 ha, sendo 40 ha com manga	Cobertura morta	Banana por 4 anos	Microaspersão realizada diariamente	Sulfato de amônio por fertirrigação com frequência semestral. Sulfato de Potássio com frequência anual.
8	EBFT	607 ha, sendo 109,2 ha com manga	Não informado	Banana por 4 anos	Microaspersão realizada diariamente	N/P/K aplicado por cobertura. De acordo com análise de solo e ciclo fenológico. Micronutrientes por meio da fertirrigação, de acordo com análise de solo, sendo aplicado semanalmente.
9	Fazenda Alphavale	100 ha, sendo 15 ha com manga	Não informado	Não foi explorado por outra cultura	Microaspersão realizada diariamente	Sulfato de amônio por fertirrigação, aplicado a cada 4 meses de acordo com análise de solo.
10 e 26	Copafruit	270 ha, sendo 132 ha com manga	Drenagem	Não foi explorado por outra cultura	Microaspersão realizada diariamente	Pós poda: Uréia, Sulfato de Potássio, Sulfato de Magnésio, Sulfato de Zinco, Ácido Bórico, Ácido Fosfórico e Cloreto de Cálcio. Pós flor: Cloreto de Cálcio, Sulfato de Potássio, MAP, Nitrato de Cálcio, Sulfato de Ferro, Sulfato de Magnésio, Sulfato de Zinco, Ácido Bórico e Ácido Fosfórico. Fertilizantes incorporados: Supersimples, Óxido de Magnésio e gesso.
14 e 16	Agrobrás	190 ha, sendo 130 ha com manga	Curvas de nível	Culturas anuais por 4 anos	Microaspersão realizada diariamente	Os adubos são aplicados de acordo com análise de solo. A frequência de aplicação é diária, na época de produção. São aplicados em maior proporção no período de produção, sendo que nos períodos de colheita são realizadas em menor quantidade. Todos os adubos são incorporados.
17	Frutex	252 ha, sendo 122,5 ha com manga	Não é realizada	Não foi explorado por outra cultura	Microaspersão realizada diariamente	Nitrato de Cálcio, via fertirrigação. Cloreto de Potássio, Sulfato de Zinco, Ácido Bórico, MAP e Sulfato de Magnésio. Todos os adubos são aplicados no período de produção.
19	UPA	273,03 ha com manga	Curvas de nível, plantio direto e uso de cobertura morta	Não foi explorado por outra cultura	Microaspersão realizada diariamente	Sulfato de Potássio, MAP granulado, Uréia, Sulfato de Amônio, Nitrato de Amônio, Ácido Bórico e Sulfato de Zinco.

Informações obtidas mediante aplicação de questionários junto aos proprietários

Tabela 3. Adubação orgânica, correção química e manejo de pragas e doenças utilizados nos plantios avaliados

TC - anos	Áreas	Adubação Orgânica	Correção química	Programa de manejo de pragas e doenças
6 e 11	AM Export	Esterco, aplicado a cada ciclo da cultura. Com incorporação. Dose: 40 L/planta	Gessagem e calagem com incorporação, de acordo com a análise de solo. A frequência depende da necessidade do solo.	PIF. As pulverizações são feitas via foliar nos períodos chuvosos. É feito o controle de ervas daninhas quando necessário utilizando a roçadeira.
7	Andorinha	Composto, com incorporação. Dose: 20 L/planta. Frequência anual	Calagem - calcário dolomítico, com incorporação. Aplicado de acordo com a análise de solo quando necessário.	PIF. As pulverizações são feitas via foliar mensalmente utilizando agroquímicos. O controle de ervas daninhas é feito semestralmente, utilizando o Glifosato, aplicado por meio de trator.
8	EBFT	Esterco caprino e bovino, aplicado a lanço. Dose: 40 L/planta a cada 2 anos	Gessagem, aplicado a lanço, de acordo com análise de solo.	PIF. As pulverizações são realizadas via foliar e por meio da água de irrigação. O período de aplicação é realizado de acordo com dados do monitoramento do PIF. O controle de ervas daninhas é feito mensalmente, utilizando a estrovenga.
9	Fazenda Alphavale	Aminoagro Mol, aplicado por fertirrigação a cada 2 meses	Não informado	PIF. As pulverizações são feitas via foliar, de acordo com dados de monitoramento de campo. O controle de ervas daninhas é realizado a cada 6 meses, utilizando o Glifosato por meio de pulverização.
10 e 26	Copafruit	Esterco caprino. Dose: 40 L/planta, aplicado uma vez por ano	Não é realizada	PIF. As pulverizações são realizadas via foliar no período de pós poda e floração, utilizado o Thiabendazole, Carbendazim, Enxofre e Cobre. Não é feito o controle de ervas daninhas.
14 e 16	Agrobrás	Esterco caprino incorporado. Dose: 40 L/planta, aplicado uma vez por ano	Gessagem e calagem. Com incorporação. De acordo com a análise de solo. A frequência é anual.	PI. As pulverizações são realizadas via foliar no período de produção, utilizando inseticida e fungicida. O controle de ervas daninhas é realizado no período chuvoso, aplicando herbicida por meio de pulverizador costal.
17	Frutex	Não informado	Gessagem - gesso agrícola	PIF. As pulverizações são feitas via foliar de acordo com os níveis de ação. O controle de ervas daninhas é realizado diariamente, por meio de estrovenga.
19	UPA	Esterco, Hufmax 8.0 e Aminoagro Alga +.	Calagem e gessagem	PIF. As pulverizações são realizadas via foliar de acordo com o nível de ação, por meio de atomizador mecanizado. O controle de ervas daninhas é feito por meio de roço manual.

Informações obtidas mediante aplicação de questionários junto aos proprietários

2.2. Amostragem

2.2.1. Solos

As amostras de solos foram coletadas em áreas sob cultivo de manga com onze tempos de cultivo (6, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 16, 17, 19 e 26 anos), em dois ambientes distintos: área de cultivo (AC) e área de referência – bioma Caatinga (AR - vizinhas aos cultivos de manga, com ausência ou mínima interferência antrópica) e nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, na extremidade da área de projeção da copa da mangueira. Para coleta das amostras, a área cultivada foi dividida em três parcelas iguais, sendo cada parcela com área de 1040 m² e 1800 m², para as áreas com espaçamento de 8 x 5 e 10 x 10, respectivamente. De cada parcela, foram amostrados quinze pontos escolhidos aleatoriamente nas linhas de cultivo, para formação da amostra composta. Na área de caatinga, foi coletada apenas uma amostra composta, formada por cinco amostras simples, entretanto, a mesma foi analisada em triplicata.

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente etiquetados, lacrados, embalados e armazenados em temperatura ambiente e transportados para o Laboratório de Fertilidade do Solo da UFRPE, onde procederam-se as análises químicas (Embrapa, 1999; USEPA, 1998; Silva et al., 1999) e físicas (Ruiz, 2005) das áreas sob cultivo, cujos resultados são apresentadas nas Tabelas 4 e 5.

2.2.2. Folhas

Para a avaliação dos teores de metais pesados nas mangueiras, foram coletadas quatro folhas por planta, nos quatro pontos cardeais, a uma altura mediana da copa. Para coleta das amostras, a área cultivada foi dividida em três parcelas iguais. De cada parcela, foram amostradas quinze plantas, escolhidas aleatoriamente nas linhas de cultivo, sendo no mesmo local de coleta do solo, com exceção da área com tempo de 8 anos de cultivo, no qual não foi coletado material vegetal por estar em estágio vegetativo diferente das demais áreas, no caso, em fase de produção. A amostragem se procedeu em ramos normais e recém-maduros, retirando as folhas da parte mediana do penúltimo fluxo do ramo ou do fluxo terminal (Embrapa, 2000). As amostras foram acondicionadas em saco de papel e mantidas sobre

refrigeração até serem transportadas para o Laboratório de Fertilidade do Solo da UFRPE e se procederem às análises químicas.

O material vegetal foi lavado três vezes em água destilada e colocado para secar em estufa com circulação de ar a 65 °C. Após isso o material foi moído em moinho de facas.

2.3. Abertura das amostras e determinação dos teores totais de metais em solo e planta

As amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de abertura de malha de 2 mm. Com a finalidade de determinar os teores totais dos metais Cu, Cr, Fe, Zn, Mn, Cd, Ni, e Pb, subamostras destes solos foram maceradas em almofariz de ágata e passadas em peneira de 0,3 mm de abertura (ABNT n° 50), com malha de aço inoxidável, visando evitar contaminações.

As digestões das amostras de solo e planta foram realizadas pelo método 3051A (USEPA, 1998). Nesse procedimento, foi transferido 1 g de solo para tubo de teflon, onde foram adicionados 9 mL de HNO₃ e 3 mL de HCl. Os tubos foram fechados, levados para o forno de microondas (Mars Xpress), inicialmente por 8 minutos e 40 segundos, tempo necessário para atingir 175 °C, temperatura esta mantida por mais 4 minutos e 30 segundos. Após resfriamento, os extratos foram completados, por meio de pipeta automática calibrada, para um volume de 20 mL com água ultra pura, filtrados com papel de filtro, e armazenados em tubos.

Para as digestões dos materiais vegetais foram realizados os mesmos procedimentos descrito anteriormente para solo, modificando apenas o peso da amostra, neste caso utilizando 0,5 g de planta.

O controle de qualidade das análises foi realizado utilizando amostras com teores de metal certificados pelo NIST (*National Institute of Standards and Technology*). As amostras de solo (SRM 2709 *San Joaquin soil - Baseline trace element concentrations*) e folhas de espinafre, (SRM 1570a *Trace Elements in Spinach*) foram analisadas em triplicata. Para leitura dos metais pesados foram utilizadas as curvas de calibração preparadas a partir de padrões 1000 mg L⁻¹ (TITRISOL®, Merck) utilizando-se água ultra pura para diluição. Os metais foram determinados em espectrofotômetro de absorção atômica (AAAnalyst 800 Perkin Elmer), utilizando a técnica de chama.

Tabela 4. Caracterização química e granulométrica das amostras de solo nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm das áreas sob cultivo de manga em Petrolina-PE

Características	Mangueiras - Tempos de Cultivo (anos)											
	Prof. (cm)	6	7	8	9	10	11	14	16	17	19	26
pH ⁽¹⁾	0-20	6,5	7,0	7,5	7,3	7,4	6,9	7,1	7,4	7,0	7,8	7,7
	20-40	6,1	7,3	7,7	7,1	7,3	6,6	6,9	7,0	6,7	7,7	7,6
P (mg dm ⁻³) ⁽¹⁾	0-20	147,28	131,95	291,03	72,81	88,74	116,02	112,80	121,66	67,98	133,63	248,75
	20-40	115,08	76,40	131,68	21,00	52,51	75,68	110,95	62,20	20,87	70,37	142,52
K (cmol _c dm ⁻³) ⁽¹⁾	0-20	0,57	0,15	0,43	0,21	0,21	0,56	0,22	0,22	0,24	0,36	0,31
	20-40	0,45	0,10	0,23	0,17	0,19	0,52	0,29	0,23	0,18	0,33	0,27
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ⁽¹⁾	0-20	2,88	4,10	4,98	2,97	3,63	4,10	3,57	4,22	3,17	4,58	5,37
	20-40	2,48	2,78	3,55	1,68	2,42	3,25	3,02	2,20	1,80	2,78	3,45
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ⁽¹⁾	0-20	1,30	1,42	1,08	1,03	1,22	1,28	0,73	0,63	1,03	1,30	1,43
	20-40	1,32	0,62	0,82	0,72	0,85	1,43	0,77	0,75	0,88	1,02	1,08
Al ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ⁽¹⁾	0-20	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
	20-40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
H+Al (cmol _c dm ⁻³) ⁽¹⁾	0-20	1,23	0,86	0,53	0,72	0,58	1,09	1,04	0,78	0,79	0,58	0,49
	20-40	1,51	0,64	0,36	0,75	0,53	1,17	0,87	0,82	0,90	0,56	0,72
Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³) ⁽¹⁾	0-20	0,11	0,11	0,08	0,06	0,02	0,10	0,01	0,03	0,06	0,23	0,05
	20-40	0,06	0,08	0,05	0,12	0,10	0,15	0,03	0,03	0,08	0,07	0,03
CO (g kg ⁻¹) ⁽²⁾	0-20	5,73	8,23	8,29	4,82	6,38	8,83	5,91	6,51	6,15	7,90	8,66
	20-40	4,27	4,57	4,78	2,52	3,18	4,26	4,12	2,73	2,87	4,31	4,88
MO (g kg ⁻¹) ⁽²⁾	0-20	9,89	14,20	14,29	8,31	11,00	15,22	10,19	11,24	10,60	13,63	14,94
	20-40	7,37	7,87	8,24	4,34	5,48	7,33	7,10	4,71	4,96	7,43	8,41
T (cmol _c dm ⁻³) ⁽³⁾	0-20	4,96	5,77	6,57	4,27	5,09	6,04	4,52	5,11	4,53	6,47	7,16
	20-40	4,31	3,58	4,64	2,70	3,55	5,42	4,10	3,21	2,98	4,20	4,84
t (cmol _c dm ⁻³) ⁽³⁾	0-20	6,09	6,63	7,10	4,99	5,67	7,14	5,56	5,89	5,29	7,05	7,65
	20-40	5,82	4,22	5,01	3,45	4,08	6,54	4,97	4,02	3,85	4,75	5,56
SB (cmol _c dm ⁻³) ⁽³⁾	0-20	4,86	5,77	6,57	4,27	5,09	6,04	4,52	5,11	4,50	6,47	7,16
	20-40	4,31	3,58	4,64	2,70	3,55	5,36	4,10	3,21	2,95	4,20	4,84
V (%) ⁽³⁾	0-20	79,59	87,28	92,50	85,70	89,50	84,79	81,36	86,46	85,02	91,59	93,76
	20-40	73,98	84,83	92,32	78,38	87,07	81,87	81,33	79,59	76,60	88,39	87,09
m (%) ⁽³⁾	0-20	2,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,76	0,00	0,00
	20-40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,18	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00
Areia (g kg ⁻¹) ⁽⁴⁾	0-20	867	936	902	924	905	885	819	895	924	898	892
	20-40	864	939	903	914	902	824	828	820	921	863	874
Silte (g kg ⁻¹) ⁽⁴⁾	0-20	50	28	49	50	32	47	52	40	24	49	48
	20-40	39	25	26	44	34	38	50	76	18	42	43
Argila (g kg ⁻¹) ⁽⁴⁾	0-20	83	36	49	27	63	68	128	65	52	53	60
	20-40	97	36	71	42	64	138	122	104	61	95	83

(1): Embrapa (1999); (2): Silva et al. (1999); (3): Cálculos; (4): Ruiz (2004)

Tabela 5. Teores totais de metais pesados das amostras de solo nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm das áreas sob cultivo de manga em Petrolina-PE

Características	Prof. (cm)	Mangueiras - Tempos de Cultivo (anos)										
		6	7	8	9	10	11	14	16	17	19	26
Cu (mg dm ⁻³) ⁽¹⁾	0-20	6,46	3,45	7,74	3,14	29,76	16,61	16,38	17,27	14,43	11,91	40,10
	20-40	4,71	2,26	3,97	2,42	12,19	6,30	12,50	7,39	7,69	5,67	20,09
Ni (mg dm ⁻³) ⁽¹⁾	0-20	0,00	0,05	0,20	0,00	0,00	0,75	0,33	0,07	0,00	0,00	0,00
	20-40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	2,03	1,89	1,03	0,00	0,57	0,52
Pb (mg dm ⁻³) ⁽¹⁾	0-20	6,43	2,72	0,00	0,00	0,89	4,78	0,00	0,00	0,00	0,23	0,30
	20-40	15,40	0,00	0,00	0,00	1,49	10,72	0,00	0,00	4,34	0,00	0,00
Mn (mg dm ⁻³) ⁽¹⁾	0-20	45,47	51,73	133,20	62,07	60,07	47,87	67,00	63,23	71,33	53,00	64,67
	20-40	47,39	33,80	68,27	49,33	27,53	37,47	45,73	29,20	41,93	36,81	42,40
Zn (mg dm ⁻³) ⁽¹⁾	0-20	41,27	32,07	102,87	37,80	89,80	42,67	60,20	41,73	72,40	89,07	80,80
	20-40	35,80	22,40	74,20	33,47	40,67	31,40	33,27	29,47	41,80	41,60	46,33
Cr (mg dm ⁻³) ⁽¹⁾	0-20	77,99	7,13	13,95	9,57	11,10	13,04	16,97	15,18	6,31	14,19	15,89
	20-40	81,03	7,23	13,61	13,07	10,45	17,46	16,77	19,89	7,80	10,42	17,99
Fe (mg dm ⁻³) ⁽¹⁾	0-20	4783	1844	3633	2663	4027	6491	5493	3460	4774	4059	4689
	20-40	5689	1479	3447	3279	3829	9361	5947	5566	4926	4615	5329

(1): USEPA (1998)

2.4. Análises Estatísticas

Para as análises estatísticas dos resultados referentes à avaliação dos teores de metais pesados nos solos, foram considerados 11 bancos de dados isolados, que corresponderam a cada tempo de cultivo avaliado. Dessa maneira, para cada tempo de cultivo, a análise estatística foi realizada em arranjo fatorial 2x2 (dois ambientes e duas profundidades) com três repetições, totalizando 132 unidades experimentais.

Para a estatística dos resultados das análises químicas das plantas foram considerados dez tempos de cultivo e três repetições, totalizando 30 unidades experimentais.

As análises estatísticas realizadas foram baseadas na aplicação do teste F à análise de variância, em análises de correlação e Teste de Tukey ($P < 0,05$), utilizando o software Statistical Analysis System (SAS, 1999).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Recuperação dos metais pesados em amostras certificadas pelo NIST

Os valores obtidos das amostras, de solo e planta (espinafre), certificadas pelo NIST encontram-se na Tabela 6. Ao se comparar os teores obtidos na análise com os fornecidos pelo NIST, obteve-se boas recuperações. Essa comparação é realizada entre os valores médios das amostras recuperadas e as recuperações por lixiviação do NIST. Uma vez que o valor certificado é realizado por meio de digestões com ácido fluorídrico (HF), que destrói todos os silicatos presentes no solo, não deve ser comparado com os resultados pela digestão 3051 A, que utiliza ácido clorídrico e ácido nítrico, que representa uma digestão pseudo-total (Biondi, 2010). O NIST indica que as comparações dos métodos que não utilizam HF, devem ser feitas com os da recuperação por lixiviação (NIST, 2002).

O Fe foi o elemento que teve recuperação acima do lixiviado, de maneira que se distanciou mais do que as recuperações dos demais elementos. A recuperação do Zn e do Mn foram as melhores, pois os valores ficaram bastante próximos dos lixiviados, com 91 e 94 %, e 90 e 87 %, respectivamente.

Para o material vegetal, os elementos, no geral, obtiveram boa recuperação, tendo apenas o Cd com recuperação mais baixa justificável pelo baixo teor deste no material de referência. Observa-se que a recuperação de Pb e Ni para planta estão elevados, com 145 e 135 %, respectivamente, justificados pelos baixos teores no material de referência.

3.2. Cobre

Os teores de Cu na profundidade de 0-20 cm variaram de 3,14 a 40,10 mg kg⁻¹, nas áreas de cultivo (AC), e de não detectado (ND) a 16,07 mg kg⁻¹, nas áreas de referência (AR). Foram encontrados acúmulos significativos de Cu (P<0,05) nessa profundidade, com maiores teores nas áreas com 7, 10, 11, 17 e 26 anos de cultivo (Figura 1). Na área com 9 anos também ocorreu diferença estatística, porém, com o teor mais elevado na AR, provavelmente devido as poucas práticas de adubação realizadas nessa propriedade (Tabela 2). As áreas de cultivo com 10 e 26 anos apresentaram os maiores teores de Cu, com uma diferença bastante superior das suas respectivas áreas de referência. Isto indica o acúmulo desse metal em

decorrência do uso de fertilizantes e pesticidas, com o decorrer do tempo de uso da área. De uma forma geral, observa-se na Figura 1 que há uma relação direta entre elevação nos teores de Cu e maior tempo de cultivo. Costa (2009), trabalhando na mesma região, com videira, encontrou teores de Cu maiores nas áreas cultivadas, quando comparadas com os da Caatinga, e atribuiu esse aumento ao uso de agroquímicos. Assim como Peris et al. (2008) em solos agrícolas, na província de Castellón (Espanha). Casali et al. (2008) também encontraram teores de Cu em solos cultivados com videira, na Serra Gaúcha do Rio Grande do Sul, superiores aos do solo sob mata nativa.

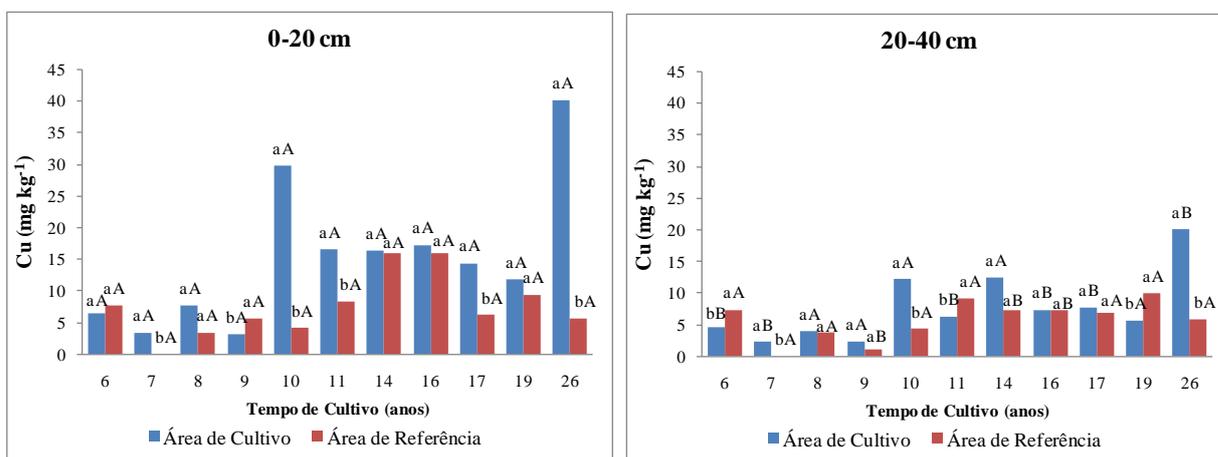
Tabela 6. Valores referentes a recuperação média das amostras do determinado para solo e planta e valores certificados e recuperados por lixiviado pelo NIST

Metal	NIST	Valor determinado	Valor Certificado	Recuperação	Recuperação por
			(NIST)	(determinado)	Lixiviado (NIST)
			mg kg ⁻¹	%	%
Cd	2709 ⁽¹⁾	0,40	0,38	105	*
	1570a ⁽²⁾	2,23	2,89	77	*
Cu	2709 ⁽¹⁾	27,26	34,60	79	92
	1570a ⁽²⁾	9,81	12,20	80	*
Ni	2709 ⁽¹⁾	65,50	88,00	74	89
	1570a ⁽²⁾	2,88	2,14	135	*
Pb	2709 ⁽¹⁾	13,22	18,90	70	69
	1570a ⁽²⁾	0,29	0,20	145	*
Mn	2709 ⁽¹⁾	484,40	538,00	90	87
	1570a ⁽²⁾	81,60	75,90	108	*
Zn	2709 ⁽¹⁾	96,53	106,00	91	94
	1570a ⁽²⁾	69,87	82,00	85	*
Fe	2709 ⁽¹⁾	35820	35000	102	86
	1570a ⁽²⁾	265,60	*	*	*
Cr	2709 ⁽¹⁾	71,39	130,00	55	61
	1570a ⁽²⁾	3,12	*	*	*

* Valores não fornecidos pelo NIST (2002), (1): Solo – San Joaquin, (2): Planta – Espinafre.

Na profundidade de 20-40 cm, os teores de Cu variaram de 2,26 a 20,09 mg kg⁻¹ nas áreas cultivadas, e de ND a 9,92 mg kg⁻¹ na Caatinga. As diferenças significativas foram para

as áreas com 7, 10 e 26 anos de cultivo em relação as AR. Para diferenças com maiores teores nas AR foram observadas nas áreas com 6, 11 e 19 anos. Observa-se que nessa profundidade os teores de Cu foram menos afetados pelas práticas agrícolas.



Médias seguidas por letras minúsculas entre ambientes (AC e AR) e por letras maiúsculas entre profundidades (0-20 e 20-40) não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Figura 1. Médias dos teores totais de Cu nas áreas de cultivo (AC) e áreas de referência (AR) em duas profundidades (0-20 e 20-40 cm), em função dos tempos de cultivo.

Em relação ao efeito da profundidade, foi verificado que ocorreram decréscimos nos teores de Cu à medida que se aumentou a profundidade, em ambos os ambientes, com um maior número de diferenças observadas nas áreas com 6, 7, 11, 16, 17 e 26 anos de cultivo. Isso é devido às fortes interações do Cu com a matéria orgânica (MO) do solo, por meio da maior seletividade das superfícies dos colóides com o metal (Nascimento & Fontes, 2004). Outros autores também verificaram essa diminuição em profundidade, os quais atribuem a baixa mobilidade do Cu em profundidade, as ligações com a MO, através da formação de complexos organo-metálicos estáveis e de baixa solubilidade (Williams et al., 1980; Taylor et al., 1995; Oliveira & Matiazzo, 2001; Mirlean et al., 2007; Komárek et al., 2008; Costa, 2009).

Os máximos valores de Cu encontrados nesse estudo estão abaixo do valor de prevenção (60 mg kg^{-1}) indicado pelo CONAMA (2009). O que leva a considerar que os teores desse metal nos solos estudados não provocam alterações prejudiciais à qualidade do solo. Quando comparados com os valores de referência de qualidade do solo obtidos por

Biondi (2010) para o estado de Pernambuco, especificamente na região fisiográfica do Sertão, para as classes de solos representativas do local, os teores de Cu nas áreas com 6, 11, 14 e 16 anos de cultivo são superiores aos teores naturais dos perfis de solos pertencentes à classe dos Argissolos, tanto na superfície ($3,18 \text{ mg kg}^{-1}$) como na subsuperfície ($2,90 \text{ mg kg}^{-1}$), indicando que os solos estão contaminados com este metal. O mesmo acontece para as áreas com 7, 8, 9, 17 e 19 anos de cultivo, quando comparados aos teores de Cu dos perfis de solos, pertencentes à classe dos Neossolos Quartzarênicos, na camada superficial ($0,50 \text{ mg kg}^{-1}$) e subsuperficial ($1,28 \text{ mg kg}^{-1}$) (Biondi, 2010), e nas áreas com 10 e 26 anos de cultivo, os teores de Cu também foram superiores aos valores de Cu dos perfis, pertencentes à classe dos Latossolos, na superfície ($2,03 \text{ mg kg}^{-1}$) e subsuperfície ($3,40 \text{ mg kg}^{-1}$) (Biondi, 2010). Em estudo realizado por Cai et al. (2010) na cidade de Dongguan na China, com objetivo de saber a influência dos poluentes em solos agrícolas, provenientes do progresso da urbanização e industrialização, encontraram teores de Cu superiores aos níveis de referência da Província de Guandong. Mendes et al. (2010) trabalhando com meloeiro na microrregião de Mossoró, Rio Grande do Norte, encontraram aumento significativo nos teores de Cu no solo em decorrência do tempo de cultivo, e duas das áreas avaliadas com teores de $102,5$ e $125,33 \text{ mg kg}^{-1}$ são superiores ao Valor de Prevenção (60 mg kg^{-1}) preconizado pelo CONAMA (2009). Isto indica a necessidade de monitoramento ou remediação dos impactos ambientais.

Correlações significativas ($P < 0,05$) e positivas, nas áreas cultivadas, foram estabelecidas entre Cu e MO, e, Cu e Zn, na profundidade de 0-20 cm, e com a MO e P, na profundidade de 20-40 cm (Tabela 7). Na adsorção do cobre, a matéria orgânica constitui um dos principais atributos, sendo que o alto grau de seletividade entre ela e o Cu se deve à formação de complexos de esfera interna, resultante de adsorção específica (Guilherme & Anderson, 1998). Vale ressaltar que o Cu, por apresentar configuração eletrônica $[\text{Ar}]3d^{10}4s^1$, tem alta reatividade com os grupos carboxílicos e fenólicos da MO, que lhe confere alta energia de ligação (Croué et al., 2003; Lair et al., 2006; Casali et al., 2008). A falta de correlação de Cu e P na superfície pode estar relacionada, possivelmente, ao deslocamento vertical de P nas formas orgânicas e inorgânicas, provocadas pela baixa capacidade de adsorção de P desses solos arenosos (Rheinheimer et al., 2003; Galvão et al., 2008).

Nas áreas de referência, o Cu apresentou correlações altamente significativas ($P < 0,01$) e positivas com a MO, Ni, Pb, Mn, Zn, Cr e Fe, na camada superficial, indicando que a origem desses elementos nesses solos são do material de origem. Na camada subsuperficial as

correlações foram semelhantes as da superfície. A correlação Cu x MO, mostra novamente a afinidade do elemento com os sítios de adsorção da MO, formando complexos de esfera interna (Costa, 2009), e como mostrado por Ramos (2006), o qual afirma que a correlação entre os dois indica que a MO é o principal reservatório de Cu nesses solos.

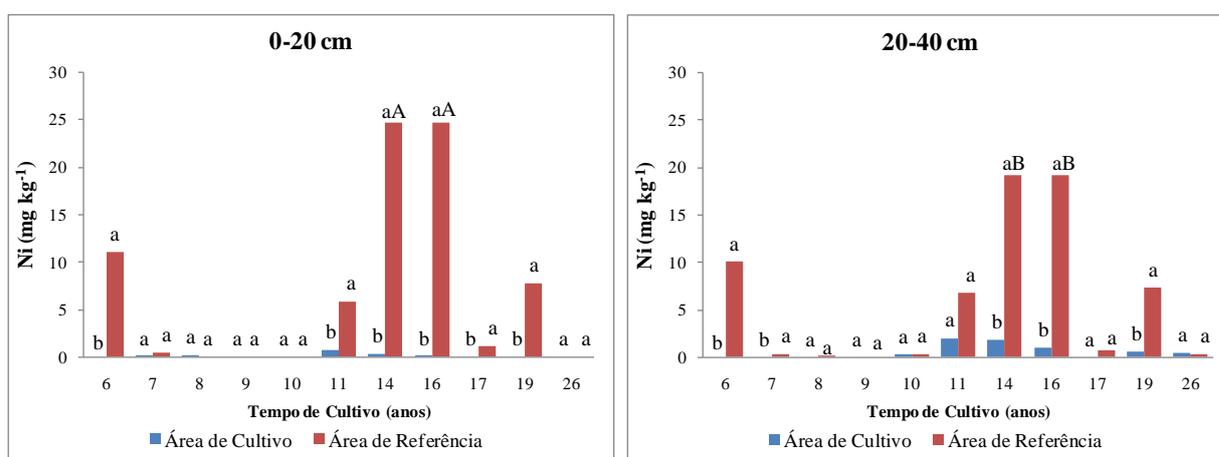
Tabela 7. Coeficientes de correlação linear de Pearson entre os teores de metais pesados do solo em áreas de cultivo (AC) e áreas de referência (AR) nas duas profundidades.

	Áreas	Cu	Ni	Pb	Mn	Zn	Cr	Fe
0-20 cm								
MO	AC	0,36*	0,37*	-0,24 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,33 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	0,17 ^{ns}
	AR	0,88**	0,92**	0,78**	0,55**	0,35*	0,81**	0,92**
P	AC	0,22 ^{ns}	0,11 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	0,53**	0,18 ^{ns}	0,08 ^{ns}	-0,06 ^{ns}
	AR	0,05 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,39*	-0,16 ^{ns}	-0,04 ^{ns}
Cu	AC		0,04 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,36*	-0,17 ^{ns}	0,33 ^{ns}
	AR		0,92**	0,89**	0,78**	0,44**	0,76**	0,95**
Ni	AC			0,12 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	0,43*
	AR			0,87**	0,76**	0,26 ^{ns}	0,73**	0,96**
Pb	AC				0,01 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,30 ^{ns}
	AR				0,86*	0,26 ^{ns}	0,62**	0,87*
Mn	AC					0,49**	-0,22 ^{ns}	-0,09 ^{ns}
	AR					0,21 ^{ns}	0,42*	0,78**
Zn	AC						-0,19 ^{ns}	0,06 ^{ns}
	AR						0,21 ^{ns}	0,34*
Cr	AC							0,22 ^{ns}
	AR							0,77**
20-40 cm								
MO	AC	0,36*	0,00 ^{ns}	-0,00 ^{ns}	0,50**	0,35*	0,10 ^{ns}	-0,02 ^{ns}
	AR	0,41*	0,92**	0,69**	0,56**	0,50**	0,96**	0,94**
P	AC	0,48**	0,18 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,60**	0,36*	0,29 ^{ns}	0,13 ^{ns}
	AR	0,31 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,49**	0,22 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	0,03 ^{ns}
Cu	AC		0,19 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,12 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	0,24 ^{ns}
	AR		0,54**	0,74**	0,76**	0,73**	0,44*	0,60**
Ni	AC			0,37*	-0,03 ^{ns}	-0,19 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,73**
	AR			0,82*	0,72**	0,45**	0,88**	0,97**
Pb	AC				0,03 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	0,18 ^{ns}
	AR				0,89**	0,49**	0,68**	0,78**
Mn	AC					0,50**	0,11 ^{ns}	-0,00 ^{ns}
	AR					0,48**	0,52**	0,73**
Zn	AC						-0,07 ^{ns}	-0,13 ^{ns}
	AR						0,50**	0,54**
Cr	AC							0,25 ^{ns}
	AR							0,90**

*,** e ns: significativos a 5 e 1% de probabilidade pelo teste Tukey, e não significativo, respectivamente

3.3. Níquel

Os teores Ni na profundidade de 0-20 cm variaram de ND a 0,75 mg kg⁻¹, nas AC, e de ND a 24,67 mg kg⁻¹, nas AR (Figura 2). Diferenças significativas foram encontradas entre as AC e AR nessa profundidade, nas áreas com 6, 11, 14, 16, 17 e 19 anos, com respectivos teores superiores nas AR, e concentrações muito baixas nas AC. Isto indica que o manejo agrícola não afetou o acúmulo desse metal nas áreas cultivadas. Esses maiores valores de Ni nas AR, principalmente nos TC 14 e 16 anos, com teores de 24,67 mg kg⁻¹, indica forte influência do material de origem, enquanto que a redução dos teores desse metal nas áreas de cultivo em relação as áreas de referência pode ter sido provocada pela remoção pelas cultura ou pela lixiviação para as camadas mais profundas do solo (Costa, 2009), visto que o Ni é um elemento de alta mobilidade no solo (Antoniadis & Tsadilas, 2007).



Médias seguidas por letras minúsculas entre ambientes (AC e AR) e por letras maiúsculas entre profundidades (0-20 e 20-40) não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Figura 2. Médias dos teores totais de Ni nas áreas de cultivo (AC) e áreas de referência (AR) em duas profundidades (0-20 e 20-40 cm), em função dos tempos de cultivo.

Os maiores valores de Ni encontrados nas AC estão bastante abaixo dos valores de prevenção (30 mg kg⁻¹) do CONAMA (2009). Em comparação aos valores de referência de qualidade de Pernambuco (Biondi, 2010), as áreas com 11 e 14 anos de cultivo estão com os teores de Ni superiores aos dos perfis de solos representativos da região do sertão, pertencentes à classe dos Argissolos, na subsuperfície (1,10 mg kg⁻¹), indicando contaminação

nessas áreas. Maiores de teores de Ni em relação ao perfil de solo da classe dos Neossolos Quartzarênicos, também foram encontrados nas áreas com 7 e 8 anos, na superfície (< Limite de Detecção) e na área com 19 anos de cultivo, na subsuperfície ($0,08 \text{ mg kg}^{-1}$) (Biondi, 2010).

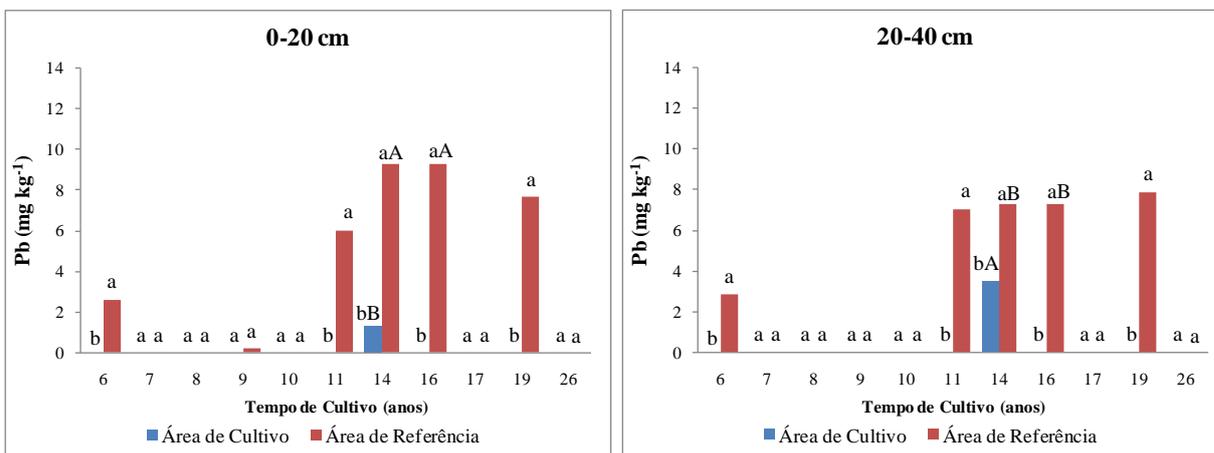
As correlações do Ni nas AC foram significativas e positivas com a MO e com o Fe, na profundidade de 0-20 cm, e com o Pb e o Fe, na profundidade de 20-40 cm (Tabela 6), indicam que o elemento está ligado a matéria orgânica e aos óxidos de Fe, principalmente, devido a alta correlação na camada subsuperficial. Nas AR as correlações foram altamente significativas e positivas também com a MO e com o Fe, em ambas as profundidades. Peris et al. (2008) encontraram correlação positiva de Ni x Fe em áreas agrícolas, cultivados com diversas hortícolas, na província de Castellón, na Espanha, utilizando o mesmo método de digestão das amostras de solo do presente trabalho.

3.4. Chumbo

Os teores de Pb na profundidade de 0-20 cm variaram de ND a $1,32 \text{ mg kg}^{-1}$, nas AC, e de ND a $9,29 \text{ mg kg}^{-1}$, nas AR. Ocorreram diferenças significativas na camada superficial para os TC com 6, 11, 14, 16 e 19 anos (Figura 3), com maiores teores de Pb nas AR. Todas as áreas com os teores de Pb superiores nas AR, indica o material de origem como fonte desse metal. Esses resultados demonstram que os solos das áreas sob cultivo foram pouco afetados, em relação ao acúmulo de Pb, pelas práticas agrícolas. Na profundidade de 20-40 cm os teores de Pb variaram de ND a $3,47 \text{ mg kg}^{-1}$, nas AC, e de ND a $7,88 \text{ mg kg}^{-1}$, nas AR. Nessa profundidade, também foi observado que as mesmas áreas da camada superficial apresentaram maiores teores de Pb nas AR. Contrariamente, Mendes et al. (2010) encontraram concentrações de Pb nas áreas cultivadas com meloeiro maiores que os solos com vegetação nativa. Os baixos valores encontrados nas AC, possivelmente são em função da remoção pelas culturas.

Todas as áreas cultivadas estão com os teores de Pb abaixo dos valores de referência de qualidade de Pernambuco (Biondi, 2010), para as respectivas classes de solos do sertão, que são os Argissolos ($5,30$ e $5,57 \text{ mg kg}^{-1}$, em superfície e subsuperfície), Neossolos Quartzarênicos ($1,55$ e $1,03 \text{ mg kg}^{-1}$, em superfície e subsuperfície) e Latossolos ($8,39$ e $9,91 \text{ mg kg}^{-1}$, em superfície e subsuperfície). Também estão muito abaixo do valor de prevenção

(72 mg kg⁻¹) do CONAMA (2009). Markovic et al. (2010) trabalhando com solos de áreas agrícolas encontraram teores de Pb abaixo dos valores de referência da regulamentação nacional da Sérvia.



Médias seguidas por letras minúsculas entre ambientes (AC e AR) e por letras maiúsculas entre profundidades (0-20 e 20-40) não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

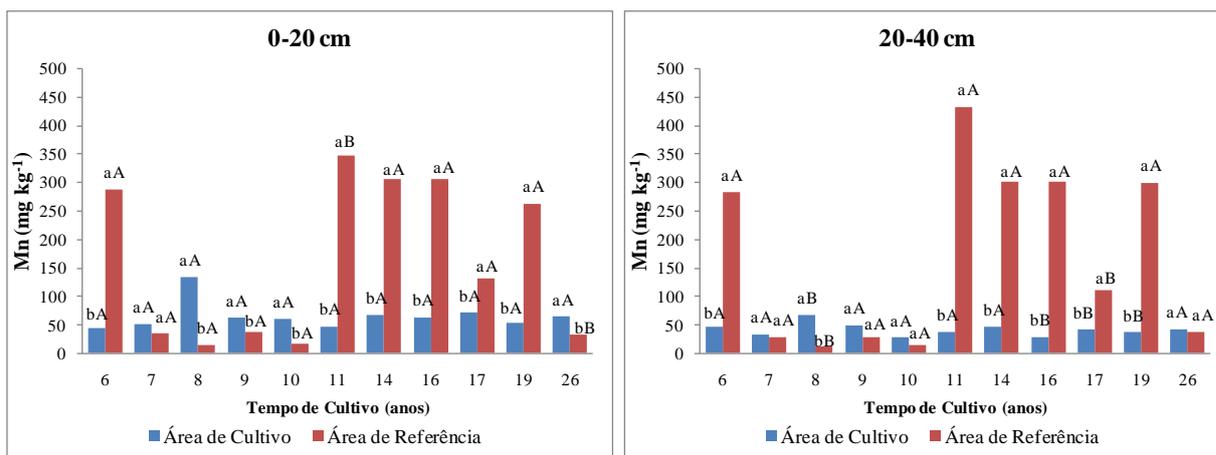
Figura 3. Médias dos teores totais de Pb nas áreas de cultivo (AC) e áreas de referência (AR) em duas profundidades (0-20 e 20-40 cm), em função dos tempos de cultivo.

3.5. Manganês

Os teores de Mn na profundidade de 0-20 cm variaram de 45,47 e 133,20 mg kg⁻¹, nas AC, e de 15,29 a 348,40 mg kg⁻¹, nas AR. Quase todas as áreas diferiram significativamente, com algumas áreas com teores de Mn mais elevados nas AC e outras mais elevados nas AR (Figura 4). As áreas com 6, 11, 14, 16, 17 e 19 anos apresentaram maiores valores de Mn nas AR, diferindo dos TC de 8, 9, 10 e 26 anos nos quais os maiores valores foram observados na área cultivada. Na profundidade de 20-40 cm, os teores de Mn variaram de 27,53 a 68,27 mg kg⁻¹, nas AC, e de 11,20 a 433,00 mg kg⁻¹, nas AR. Foram observados teores superiores nas AR, a exceção da área com 8 anos, em que a AC foi superior a AR.

Essas diferenças mostram que, nas áreas em que os teores de Mn foram menores nas AR em comparação com as AC, serem originários de material de origem pobre em Mn. As outras áreas de referência demonstram que as fontes principais de Mn nos solos são provenientes do material de origem, corroborando com Micó et al. (2006) e Peris et al. (2008).

E as reduções desse metal nas AC decorrem da remoção pela cultura, uma vez que é considerado o micronutriente encontrado em maior quantidade na casca da manga e, depois do Fe, na polpa do fruto (Pinto, 2002). Segundo Magalhães & Borges (2000) são exportados cerca de 2,71 g de Mn por tonelada de frutos. Estes resultados demonstram o empobrecimento das áreas estudadas, sendo clara a necessidade de reposição desse micronutriente nos solos.



Médias seguidas por letras minúsculas entre ambientes (AC e AR) e por letras maiúsculas entre profundidades (0-20 e 20-40) não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Figura 4. Médias dos teores totais de Mn nas áreas de cultivo (AC) e áreas de referência (AR) e nas duas profundidades (0-20 e 20-40 cm), em função dos tempos de cultivo.

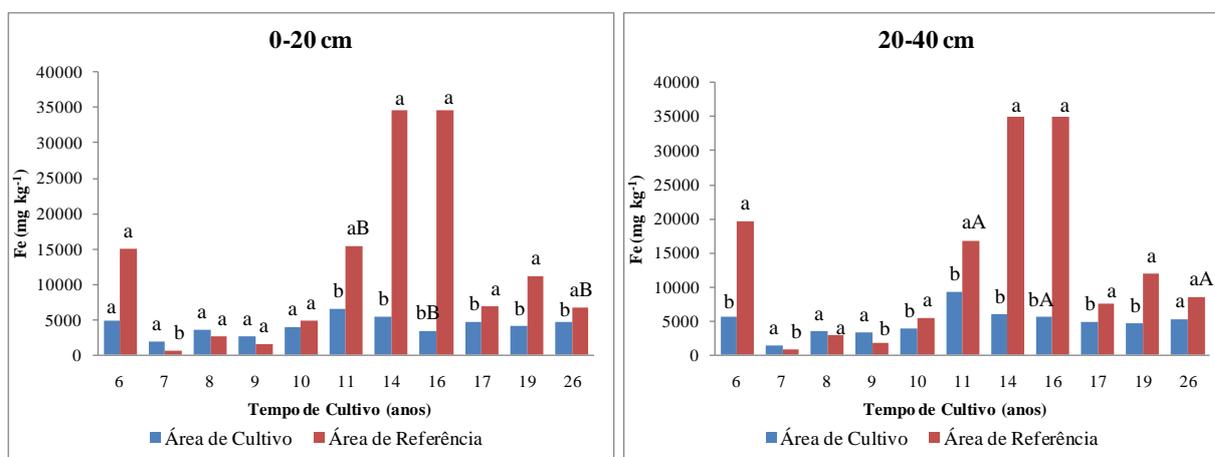
A dinâmica do Mn em profundidade, de uma forma geral, foi afetada pelo teor de matéria orgânica, ocorrendo diminuição dos valores de Mn com o aumento da profundidade. Com exceção das áreas de referência com 11 e 26 anos, que apresentaram acúmulo de Mn em maior profundidade.

Correlações positivas e significativas nas AC foram encontradas entre Mn e P, na profundidade de 0-20 cm (Tabela 6), sugerindo que esse metal pode estar ligado aos íons fosfatos advindos da elevada adubação com fósforo. Na profundidade de 20-40 cm, além das correlações com Zn e P, observou-se o estabelecimento de correlações com a MO. Nas AR, o Mn também correlacionou-se positivamente e significativamente com a MO nas camadas superficial e subsuperficial.

3.6. Ferro

Os teores de Fe na profundidade de 0-20 cm variaram de 1844,0 a 6491,0 mg kg⁻¹, nas AC, e de 642,0 a 34633,0 mg kg⁻¹, nas AR. Diferenças significativas foram observadas para a maioria das áreas (Figura 5), com teores de Fe mais elevados nas AR, semelhantemente ao comportamento observado para o Mn. Apenas a área com 7 anos de cultivo, na camada superficial, apresentou teor de Fe superior a sua AR. Na profundidade de 20-40 cm, os teores de Fe variaram de 1479,3 a 9361,0 mg kg⁻¹, nas AC, e de 758,0 a 35000,0 mg kg⁻¹, nas AR. As áreas com 7 e 9 anos de cultivo apresentaram teores de Fe superiores as AR. A redução dos teores de Fe nas AC são decorrentes da remoção pelas mangueiras, uma vez que é o micronutriente mais encontrado no fruto da manga (Pinto, 2002; Medeiros et al., 2005).

Quanto ao efeito do Fe em profundidade, foram observadas diferenças estatísticas nas áreas com 11, 16 e 26 anos, com acúmulo do metal à medida que aumenta a profundidade. Geralmente os teores de Fe presentes nos solos são provenientes do material de origem.



Médias seguidas por letras minúsculas entre ambientes (AC e AR) e por letras maiúsculas entre profundidades (0-20 e 20-40) não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

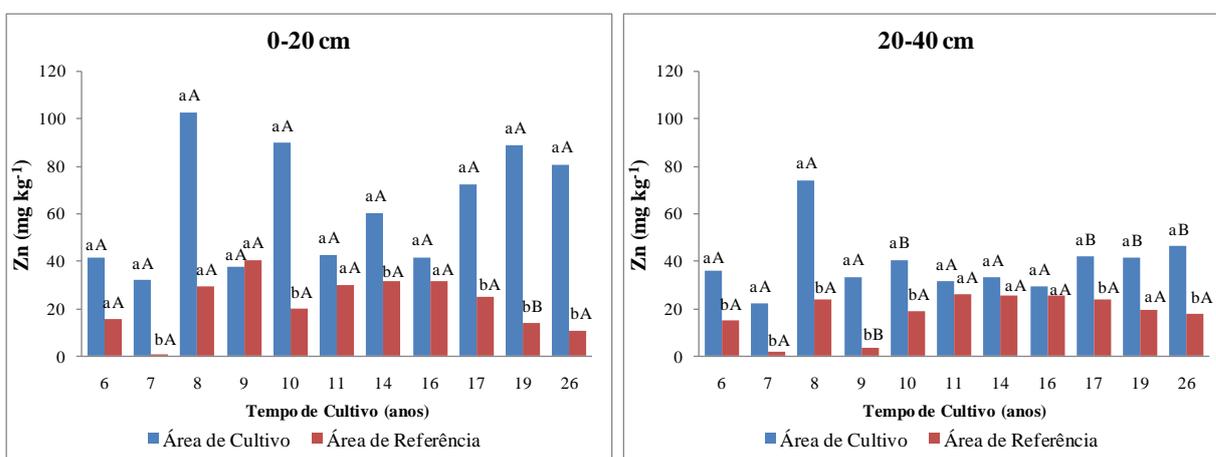
Figura 5. Médias dos teores totais de Fe nas áreas de cultivo (AC) e áreas de referência (AR) e nas duas profundidades (0-20 e 20-40 cm), em função dos tempos de cultivo.

Nas AR observaram-se correlações positivas e significativas do Fe com a MO nas duas profundidades. Segundo Oliveira & Nascimento (2006) os teores de Fe disponíveis, estão ligados a fração matéria orgânica, o que justifica as altas correlações de Fe x MO,

encontradas nesse estudo. Essa correlação também foi apresentada por Costa (2009) e corrobora o importante papel da MO na disponibilização deste micronutriente.

3.7. Zinco

Os teores de Zn na profundidade de 0-20 cm variaram de 32,07 a 102,87 mg kg⁻¹, nas AC, e de 0,20 a 40,53 mg kg⁻¹, nas AR. As áreas com 7, 10, 14, 17, 19 e 26 anos apresentaram diferenças significativas, com os teores de Zn superiores nas AC (Figura 6), indicando que essas áreas sofreram alterações com acúmulo de Zn devido, provavelmente, às adubações e uso de defensivos agrícolas. Na profundidade de 20-40 cm, os teores de Zn variaram de 22,40 a 74,20 mg kg⁻¹, nas AC, e de 1,73 a 26,20 mg kg⁻¹, nas AR. A maioria das AC apresentaram teores de Zn superiores as AR, com diferença significativa. Algumas empresas informaram aplicar sulfato de zinco nas adubações (Tabela 2), como as áreas com 10, 17, 19 e 26 anos, o que justifica maiores diferenças nessas áreas com acúmulo de Zn. Esses dados estão em concordância com os de Costa (2009), o qual atribuiu os aumentos de Zn em áreas cultivadas com videira a atividade antrópica.



Médias seguidas por letras minúsculas entre ambientes (AC e AR) e por letras maiúsculas entre profundidades (0-20 e 20-40) não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Figura 6. Médias dos teores totais de Zn nas áreas de cultivo (AC) e áreas de referência (AR) e nas duas profundidades (0-20 e 20-40 cm), em função dos tempos de cultivo.

O Zn em profundidade apresentou diferenças significativas nas AC para as áreas com

10, 17, 19 e 26 anos, reduzindo o teor do metal à medida que aumenta a profundidade. Essa mesma dinâmica foi observado na AR para o TC de 9 anos e o inverso para a área com 19 anos, elevando a concentração de Zn com o aumento da profundidade. Essa redução dos teores de Zn da superfície para a subsuperfície é influenciada pela elevação do pH do solo, proporcionada pela prática da calagem (Tabela 2), pois o Zn é um elemento móvel no solo, em condições ácidas, e quando há elevação do pH, esse metal fica retido fortemente a matéria orgânica e aos óxidos (Nascimento et al., 2002).

Todas as áreas de cultivo estão com os teores de Zn acima dos valores de referência de qualidade de Pernambuco (Biondi, 2010), nas duas profundidades. De forma que, as áreas com 6, 11, 14 e 16 anos de cultivo comparadas à classe dos Argissolos (11,05 e 7,48 mg kg⁻¹, em superfície e subsuperfície), as áreas com 7, 8, 9, 17 e 19 anos de cultivo comparadas à classe dos Neossolos Quartzarênicos (2,38 e 1,05 mg kg⁻¹, em superfície e subsuperfície) e as áreas com 10 e 26 anos de cultivo comparadas à classe dos Latossolos (9,58 e 11,65 mg kg⁻¹, em superfície e subsuperfície), o que caracteriza contaminação desses solos, porém estão muito abaixo do valor de prevenção (300 mg kg⁻¹), indicado pelo CONAMA (2009).

O Zn correlacionou-se positivamente e significativamente nas AC com o Cu e Mn, na profundidade de 0-20 cm, e com a MO, P e Mn, na profundidade de 20-40 cm. A falta de correlação com a MO na superfície, sugere não ser essa uma fonte de Zn. Segundo Nascimento & Fontes (2004) os teores de argila são mais importantes na adsorção de Zn do que a matéria orgânica. Na subsuperfície o Zn é correlacionado com a matéria orgânica, os fosfatos e os óxidos. A correlação de Zn e Cu, indica que ambos são oriundos de defensivos agrícolas, que também foi reportada por Peris et al. (2008) em solos agrícolas. Nas AR foram observadas correlações positivas e significativas do Zn com a MO, P, Cu e Fe, na camada superficial, e com a MO, Cu, Ni, Pb, Mn, Cr e Fe, na camada subsuperficial, mostrando nessa última camada maior afinidade com os outros elementos e as diferentes formas de ligação. Resultados semelhantes de correlação nas AR foram obtidos por Costa (2009).

3.8. Cromo

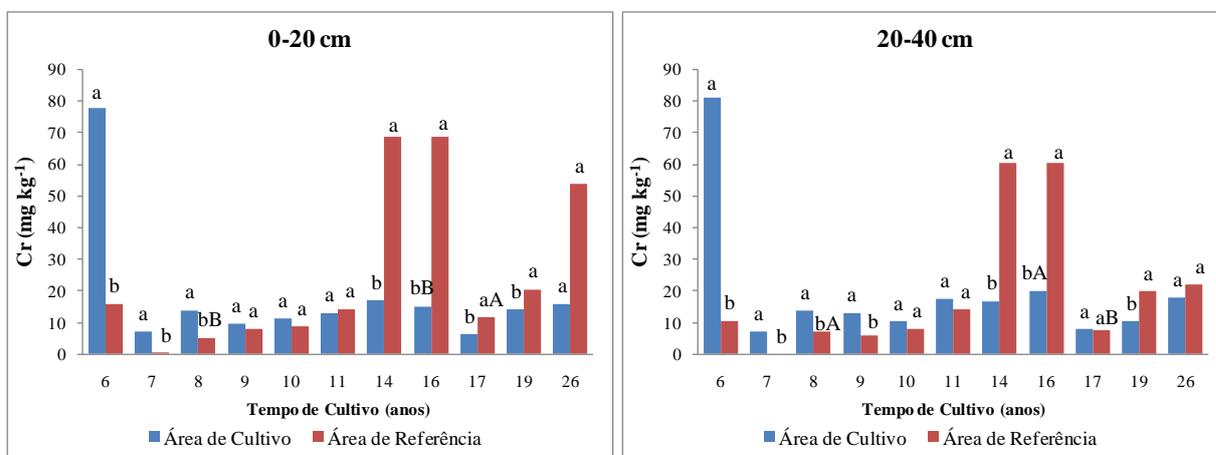
Os teores de Cr na profundidade de 0-20 cm variaram de 6,31 a 77,99 mg kg⁻¹, nas AC, e de 0,31 a 68,86 mg kg⁻¹, nas AR (Figura 7). As áreas com 6, 7 e 8 anos, apresentaram aumento significativo nos teores de Cr nas AC, em comparação com as AR, sugerindo

interferência antrópica nessas áreas, devido as práticas de fertilização e uso de pesticidas, sendo observado com maior intensidade na área com 6 anos de cultivo. As áreas com 14, 16, 17 e 19 anos, também apresentaram diferenças significativas, porém com maiores teores de Cr nas AR, mostrando influência do material de origem no acúmulo desse metal. Na profundidade de 20-40 cm, os teores de Cr variaram de 7,23 a 81,03 mg kg⁻¹, nas AC, e de ND a 60,39 mg kg⁻¹, nas AR. Nessa profundidade foram observadas diferenças estatísticas com teores de Cr superiores nas AC para as mesmas áreas em superfície, incluindo a área com 9 anos de cultivo. O mesmo ocorreu também nos TC com teores mais elevados nas AR, exceto a área com 17 anos de cultivo.

Em profundidade observou-se pouca variação do Cr, em ambos os ambientes, o que contraria resultados na literatura (Williams et al., 1987; Bertocini & Mattiazzo, 1999), os quais abordam a imobilidade do Cr. Para as áreas com 8 anos, na AR, e 16 anos, na AC, ocorreram aumento nos valores de Cr em profundidade. Para a área com 17 anos na AR, ocorreu redução dos teores de Cr à medida que aumentou a profundidade.

A área de cultivo com 6 anos, foi a única que apresentou teor de Cr acima do valor de prevenção (75 mg kg⁻¹) indicado pelo CONAMA (2009), nas duas profundidades. Esses teores de Cr são oriundos, provavelmente, das adubações minerais e orgânicas. Segundo Malavolta (2006) os adubos fosfatados apresentam maior teor de Cr. Isso mostra que deve ser feito monitoramento nessa área, visando diminuir impactos ambientais. No entanto, todas as áreas de cultivo estão com os teores de Cr superiores aos valores de referência de qualidade de Pernambuco (Biondi, 2010), quando comparados as respectivas classes de solos, para a região do sertão, com exceção da área com 10 anos de cultivo na camada subsuperficial. De forma que, as áreas com 6, 11, 14 e 16 anos de cultivo comparadas à classe dos Argissolos (12,60 e 14,70 mg kg⁻¹, em superfície e subsuperfície), as áreas com 7, 8, 9, 17 e 19 anos de cultivo comparadas à classe dos Neossolos Quartzarênicos (2,38 e 3,95 mg kg⁻¹, em superfície e subsuperfície) e as áreas com 10 e 26 anos de cultivo comparadas à classe dos Latossolos (10,05 e 11,93 mg kg⁻¹, em superfície e subsuperfície), o que caracteriza contaminação desses solos.

Nas AR foram observadas correlações positivas e significativas do Cr com a MO, Cu, Ni, Pb, Mn e Fe, em ambas as profundidades, indicando a influência do material de origem como fonte principal da maioria desses metais pesados.



Médias seguidas por letras minúsculas entre ambientes (AC e AR) e por letras maiúsculas entre profundidades (0-20 e 20-40) não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Figura 7. Médias dos teores totais de Cr nas áreas de cultivo (AC) e áreas de referência (AR) e nas duas profundidades (0-20 e 20-40 cm), em função dos tempos de cultivo.

3.9. Teores de metais pesados em folhas de manga

Os teores de Cu nas folhas de manga variaram de 4,29 a 63,73 mg kg⁻¹, nas áreas de cultivo avaliadas (Tabela 8). De acordo com as faixas de interpretação da nutrição para micronutrientes de Quaggio (1996), a área com 14 anos encontra-se deficiente. As áreas com 16, 17 e 26 anos estão com os valores de Cu entre a faixa de teores deficiente e a de adequados, a área com 9 anos está com os teores desse elemento acima da faixa de teores adequados. As demais áreas estão dentro da faixa de teores adequados. Grande parte do Cu encontrado nas folhas é reflexo dos produtos químicos à base desse elemento para controle fitossanitário.

Os teores de Ni nas folhas variaram entre ND e 1,24 mg kg⁻¹ (Tabela 8). Apesar desse metal ser considerado essencial para as plantas, não há relatos de estudos em pomares de manga com esse elemento. A maioria das áreas apresentaram teores desse metal não detectados ou próximo a zero, somente a área com 17 anos que obteve um valor mais elevado.

As concentrações de Mn foliar variaram de 53,87 a 569,60 mg kg⁻¹ (Tabela 8). Apenas as áreas com 7 e 19 anos estão com os teores de Mn dentro da faixa de teores adequados (Quaggio, 1996), enquanto que todas as outras áreas apresentaram valores muito acima dos

teores adequados. Resultados semelhantes de excesso de Mn nas folhas de manga também foram encontrados por Assis et al., 2004; Rozane et al., 2007; Pinto et al., 2009; Galli et al., 2009. Os altos teores encontrados podem ser justificado, possivelmente, pela alta concentração disponível do metal no solo e pelas pulverizações com produtos químicos à base de Mn para combate de pragas e doenças.

Tabela 8. Teores de metais pesados em folhas de manga, cultivadas no Vale do São Francisco em diferentes tempos de cultivo

TC anos	Cu	Ni	Mn	Zn	Fe	Cr
	mg kg ⁻¹					
6	22,47	ND	503,47	17,36	55,44	2,32
7	32,07	0,59	53,87	11,15	62,83	1,85
9	63,73	0,47	250,67	12,99	48,13	1,92
10	10,47	0,05	429,07	19,08	80,52	4,85
11	16,31	ND	212,53	9,45	110,17	3,84
14	4,29	ND	569,60	7,76	76,52	3,03
16	9,35	ND	358,80	7,97	65,84	1,56
17	9,75	1,24	408,67	11,95	76,27	0,87
19	19,79	ND	67,57	37,71	56,68	0,00
26	8,44	ND	135,87	25,81	60,47	0,00
Faixa de Teores (Quaggio, 1996)						
Deficiente	<5	*	<10	<10	<15	*
Adequado	10,0-50,0	*	50,0-100,0	20,0-40,0	50,0-200,0	*
Excessivo	-	*	-	>100	-	*

ND: não detectado; * não existem faixa de teores para esses elementos; - não existem teores excessivos para esses elementos.

Os teores de Zn na folha variaram entre 7,76 e 37,71 mg kg⁻¹ (Tabela 8). As áreas com 11, 14 e 16 anos estão com os teores de Zn abaixo da faixa que considera deficiente (<10,0 mg kg⁻¹) (Quaggio, 1996). Tendo somente as áreas com 19 e 26 anos dentro da faixa de teores adequados. As demais áreas estão com os teores de Zn entre deficiente e adequado. Pereira et al. (2005) consideram o Zn um dos micronutrientes mais importantes para a cultura da manga. Sua deficiência pode causar distúrbios denominados de malformação floral ou “Embonecamento” e malformação vegetativa ou “Vassoura de Bruxa”, causado pela emissão de panículas pequenas, de formas irregulares, múltiplas e deformadas (Silva et al., 2004).

As concentrações de Fe na folha variaram de 48,13 a 110,17 mg kg⁻¹ (Tabela 8). Somente a área com 9 anos apresentou teores desse metal abaixo da faixa de teores adequados (Quaggio, 1996). Todas as outras áreas estão com os níveis de Fe dentro da faixa de teores adequados. Rozane et al. (2007) encontraram teores de Fe em folhas de manga abaixo da faixa de teores adequados. De acordo com esses autores as diferenças nos diversos trabalhos se devem, provavelmente, ao manejo do solo, condições de cultivo, épocas e estágios fenológicos e as diferentes variedades da mangueira.

Os teores de Cr na folha variaram entre ND e 4,85 mg kg⁻¹ (Tabela 8). Esse elemento não faz parte do grupo de metais essenciais para as plantas, portanto, sua presença no tecido foliar pode causar toxicidade. Somente as áreas com 19 e 26 anos não apresentaram teores de Cr na folha. Não há registros do efeito de toxicidade de Cr em mangueiras, uma vez que o efeito tóxico de Cr nas plantas varia conforme o seu estado de oxidação (Cr³⁺ ou Cr⁶⁺) e a capacidade de tolerância das espécies (Castilhos et al., 2001). De acordo com Losi et al. (1994) os efeitos tóxicos do cromo na maioria das plantas são comuns quando as concentrações do elemento nas folhas é superior a 18 mg kg⁻¹. Porém, segundo Castilhos et al. (2001) os teores de Cr na parte aérea de plantas de soja maiores que 3,4 mg kg⁻¹ são considerados fitotóxicos.

4. CONCLUSÕES

1. O cultivo de mangueira proporcionou acúmulo superficial dos metais Cu e Zn e redução dos teores de Ni, Pb, Mn, Cr e Fe, tanto em superfície como em subsuperfície.
2. As áreas cultivadas apresentaram contaminação dos metais pesados Cu, Ni, Zn e Cr, devendo ser feitos monitoramentos nessas áreas para evitar impactos ambientais.
3. Os diferentes tipos de manejos das empresas no cultivo de manga proporcionaram deficiência e excessividade de alguns metais pesados nas áreas avaliadas. Fe e Mn, no entanto, supriram a nutrição mineral da mangueira em todas as áreas.
4. A presença de Cr nas folhas de mangueira sugere a necessidade de investigação nessas áreas cultivadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J. A. S. de; MOUCO, M. A. do C.; MEDINA, V. D.; SANTOS, C. R. dos; TAVARES, S. C. C. de H. **O cultivo da mangueira irrigada no semi-árido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido/VALEXPOR, 77p, 1999.

ANTONIADIS, V.; TSADILAS, C.D. Sorption of cadmium, nickel, and zinc in mono- and multimetal systems. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 22, p. 2375–2380, 2007.

ASSIS, J. S.; SILVA, D. J.; MORAES, P. L. D. Equilíbrio nutricional e distúrbios fisiológicos em manga ‘Tommy Atkins’. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal-SP, v. 26, n. 2, p. 326-329, 2004.

BERTI, M. J. F. **Balço de uso e aplicação de fertilizantes e agrotóxicos em duas sub-bacias do município de Sorriso – MT**. 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Joinville - Santa Catarina, 2003.

BERTONCINI, E. I.; MATTIAZZO, M. E. Mobilidade de metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 737-744, 1999.

BIONDI, C. M. **Teores naturais de metais pesados nos solos de referência do estado de Pernambuco**. Tese de Doutorado, PPG-Ciência do Solo, UFRPE, 58 p, 2010.

CAI, L.; HUANG, L.; ZHOU, Y.; XU, Z.; PENG, X.; YAO, L.; ZHOU, L.; PENG, P. Heavy metal concentrations of agricultural soils and vegetables from Dongguan, Guangdong. **Journal of Geographical Sciences**, v. 20(1): 121-134, 2010.

CASALI, C. A.; MOTERLE, D. F.; RHEINHEIMER, D. S.; BRUNETTO, G.; CORCINI, A. L. M.; KAMINSKI, J.; MELO, G. W. B. Formas de dessorção de cobre em solos cultivados com videira na Serra Gaúcha do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1479-1487, 2008.

CASTILHOS, D. D.; GUADAGNIN, C. A.; LEITZKE, M. D.; FERREIRA, L. H. NUNES, M. C. Acúmulo de cromo e seus efeitos na fixação biológica de nitrogênio e absorção de nutrientes em soja. **Rev. Bras. de AGROCIÊNCIA**, v.7, n. 2, p. 121-124, 2001.

CASTILHOS, D. D.; COSTA, C. N.; PASSIANOTO, C. C.; LIMA, A. C. R.; LIMA, C. L. R.; MULLER, V. Adição de cromo hexavalente no crescimento, nodulação e absorção de nutrientes em soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 6, p.9 69-972, 2001.

CONAMA- **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Resolução nº 420, de 28 de dezembro

de 2009. "Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.", Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, DF, nº 249, de 30/12/2009, págs. 81-84. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano1.cfm?codlegitipo=3&ano=2009>>(Acessado em Julho de 2010).

COSTA, W. P. L. B. **Alterações na fertilidade do solo e teores de metais pesados em solos cultivados com videira**. Dissertação de Mestrado, PPG-Ciência do Solo, UFRPE, 80 p, 2009.

CROUÉ, J. P.; BENEDETTI, M. F.; VIOLLEAU, D. & LEENHEER, J. A. Characterization and copper binding of humic and nonhumic organic matter isolated from the South Platte River: Evidence for the presence of nitrogenous binding site. **Environ. Sci. Technol.**, 37:328-336, 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manga, Produção, Aspectos Técnicos**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 63p, 2000.

EMBRAPA SOLOS. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Organizador Fábio César da Silva. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999.

GALLI, J. A.; SILVEIRA, L. C. P.; MICHELOTTO, M. D.; MARTINS, A. L. M. Avaliação da incidência de antracnose, do desempenho e estado nutricional de variedades de manga, para cultivo orgânico, na região centro-norte do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal-SP, v. 31, n. 3, p. 701-709, 2009.

GALVÃO, S. R. S.; SALCEDO, I. H.; OLIVEIRA, F. F. Acumulação de nutrientes em solos arenosos adubados com esterco bovino. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 43, n. 1, p. 99-105, 2008.

GUILHERME, L. R. G.; ANDERSON, S. J. Copper sorption kinetics and sorption hysteresis in two oxide-rich soils (Oxisols). In: VENNE, E. A. (Ed.). **Adsorption of metals by geomedia: variables, mechanisms and model applications**. San Diego: Academic Press, cap. 9, p. 209-228, 1998.

KOMÁREK, M. et al. Copper contamination of vineyard soils from small wine producers: A case study from the Czech Republic. **Geoderma**, Amsterdam, v. 147, p. 16–22, 2008.

KUMPIENE, J.; LAGERKVIST, A.; MAURICE, C. Stabilization of Pb- and Cu-contaminated soil using coal fly ash and peat. **Environmental Pollution**, Essex, v. 145, p. 365-373, 2007.

LACERDA, M. A. D.; LACERDA, R. D. O Cluster da fruticultura no Pólo Petrolina/Juazeiro. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 4, n. 1, 2004.

LAIR, G. J.; GERZABEK, M. H.; HABERHAUER, G.; JAKUSCH, M. & KIRCHMANN, H. Response of the sorption behavior of Cu, Cd, and Zn to different soil management. **J. Plant Nutr. Soil Sci.**, 169:1-9, 2006.

LOSI, M. E.; AMRHEIN, C.; FRANKENBERGER, W. T. Environmental biochemistry of chromium. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology**, New York, v. 135, p. 91-121, 1994.

LUCAFÓ, B. H. S.; BOTEON, M. **Potencial da manga brasileira no mercado internacional**. In: II Congresso Internacional de Economia e Gestão de Redes Agroalimentares. Ribeirão Preto - SP, 2001.

MAGALHÃES, A. F. J.; BORGES, A. L. Calagem e Adubação. In: MATOS A. P. de (org.). **Manga Produção: aspectos técnicos**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 63 p, 2000. (Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia: Frutas do Brasil; 4).

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 638p, 2006.

MARKOVIC, M.; CUPAC, S.; DUROVIC, R.; MILINOVIC, J.; KLJAJIC, P. Assessment of Heavy Metal and Pesticide Levels in Soil and Plant Products from Agricultural Area of Belgrade, Serbia. **Arch Environ Contam Toxicol**, v. 58, p. 341–351, 2010.

MEDEIROS, A. A.; AMORIM, J. R. A.; SILVA, D. J.; GUEDES, F. X.; GUERRA, A. G.; DANTAS, J. A. **Composição mineral de folhas e exportação de nutrientes pelos frutos de mangueira, em cultivo irrigado, no Rio Grande do Norte**. EPARN, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 13p, 2005.

MENDES, A. M. S. DUDA, G. P.; NASCIMENTO, C. W. A.; LIMA, J. A. G.; MEDEIROS, A. D. L. Acúmulo de metais pesados e alterações químicas em Cambissolo cultivado com meloeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 8, p. 791-796, 2010.

MICÓ, C., RECATALÁ, L., PERIS, M., & SÁNCHEZ, J. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. **Chemosphere**, v. 65, p. 863–872, 2006.

MIRLEAN, N.; ROISENBERG, A.; CHIES, J. O. Metal contamination of vineyard soils in wet subtropics (southern Brazil). **Environmental Pollution**, Essex, v. 149, p. 10-17, 2007.

NASCIMENTO, C. W. A.; FONTES, R. L. F.; NEVES, J. C. L. MELÍCIO, A. C. F. D.

Fracionamento, dessorção e extração química de zinco em Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 599-606, 2002.

NASCIMENTO, C. W. A.; FONTES, R. L. F. Correlação entre características de Latossolos e parâmetros de equações de adsorção de cobre e zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 28, p. 965-971, 2004.

NIST - National Institute of Standards and Technology. **Standard Reference Materials - SRM 2709, 2710 and 2711**Addendum Issue Date: 18 January 2002.

NÚÑEZ, J. E. V. et. al. Sistemas de preparo de solo e acúmulo de metais pesados no solo e na cultura do pimentão (*Capsicum Annum* L.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 1, p.113-119, 2006.

OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E. Mobilidade de metais pesados em um Latossolo Amarelo distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 4, p. 807-812, 2001.

OLIVEIRA, A. B. DE.; NASCIMENTO, C. W. A. DO. Formas de manganês e ferro em solos de referência de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.30, p.99-110, 2006.

OLIVEIRA, T. M. M.; SALVIANO, A. M.; MORAES, M. J. A.; DUDA, G. P. Disponibilidade de cádmio em diferentes solos do Rio Grande do Norte. **Revista Caatinga (Mossoró, Brasil)**, v. 21, n. 3, p. 06-12, 2008.

O'NEILL, P. **Environmental chemistry**. 2.ed., London: Chapman & Hall, 267p, 1993.

PERIS, M.; RECATALÁ, L.; MICÓ, C.; SÁNCHEZ, R.; SÁNCHEZ, J. Increasing the Knowledge of Heavy Metal Contents and Sources in Agricultural Soils of the European Mediterranean Region. **Water Air Soil Pollut**, 192:25-37, 2008.

PEREIRA, M. E. C.; FONSECA, N.; SOUZA, F. V. D. **Manga: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 184p, 2005.

PINTO, P. A. C. **Avaliação do estado nutricional da mangueira Tommy Atkins pelo DRIS e da qualidade pós-colheita de frutos na região do Submédio São Francisco**. Tese Doutorado UFV, Viçosa, 2002.

PINTO, P. A. C.; DIAS, L. E.; ALVAREZ V., H. V.; CHOUDHURY, M. M.; VIEIRA, G. Avaliação de estado nutricional da mangueira Tommy Atkins no submédio do vale do rio São Francisco: estabelecimento das normas DRIS. **Revista Recursos Rurais**, n. 5, p. 5-13, 2009.

QUAGGIO, J. A. Adubação e calagem para mangueira e qualidade dos frutos. p. 106-135. In: São A. R. José, I. V. B. Souza, J. Martins Filho, and O. M. Morais (ed.) **Manga, tecnologia de produção e mercado**. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 1996.

RAMOS, M. C. Metals in vineyard soil of the Penedès area (NE Spain) after compost application. **Journal of Environmental Management**, London, v. 78, p. 209-215, 2006.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; CONTE, E.; KAMINSKI, J.; GATIBONI, L. C. Dessorção de fósforo avaliada por extrações sucessivas em amostras de solo provenientes dos sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, v.33, p.1053-1059, 2003.

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

ROZANE, D. E.; NATALE, W.; PRADO, R. M.; BARBOSA, J. C. Amostragem para diagnose do estado nutricional de mangueiras. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal-SP, v. 29, n. 2, p. 371-376, 2007.

RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 297-300, 2005.

SAS INSTITUTE (1999) Statistical analysis system: procedure guide for personal computer. Cary.

SILVA, A. C., TORRADO, P. V., ABREU JUNIOR, J. de S. Métodos de quantificação da matéria orgânica do solo. **R. Un. Alfenas**, Alfenas, 5:21-26, 1999.

SILVA, D. J.; PEREIRA, J. R.; MOUCO, M. A. C.; ALBUQUERQUE, J. A. S.; RAIJ, B. van; SILVA, C. A. **Nutrição Mineral e Adubação da Mangueira em Condições Irrigadas**. Circular Técnica – EMBRAPA, Petrolina-PE, 2004.

SILVA, D. J. **Nutrição e Adubação da Mangueira em Sistema de Produção Integrada**. Circular Técnica – EMBRAPA, Petrolina-PE, 2008.

STIGLIANI, W. M. Changes in valued “capacities” of soils and sediments as indicators of nonlinear and time-delayed environmental effects. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 10, p. 245-307, 1988.

TAYLOR, R. W.; XIU, H.; MEHADI, A. A.; SHUFORD, J. W.; TADESSE, W. Fractionation of residual cadmium, copper, nickel, lead, and zinc in previously sludge-amended soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 26, p. 2193-2204, 1995.

USEPA - United States Environmental Protection Agency. **Method 3051a** – Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. 1998. Revision 1 Feb 2007. 30p. Disponível em <http://www.epa.gov/epawaste/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3051a.pdf> Acesso em: fev. 2010.

WILLIAMS, D. E.; VLAMIS, J.; PUKITE, A. H.; COREY, J. E. Trace element accumulation, movement, and distribution in the soil profile from massive applications of sewage sludge. **Soil Science**, v. 129, p. 119-132, 1980.

WILLIAMS, D. E.; VLAMIS, J.; PUKITE, A. H.; COREY, J. E. Metal movement in sludge-amended soils: a nine-year study. **Soil Science**, v. 143, p. 124-131, 1987.