

**Unesp**  **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**

CAMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS

**ATRIBUTOS DE SOLOS SOB CULTIVO DE FRUTÍFERAS EM  
SISTEMAS DE MANEJO CONVENCIONAL, EM TRANSIÇÃO E  
ORGÂNICO NO NORTE DO ESTADO DO PIAUÍ.**

**Valdinar Bezerra dos Santos**  
Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL, SP – BRASIL

2010

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ATRIBUTOS DE SOLOS SOB CULTIVO DE FRUTÍFERAS EM  
SISTEMAS DE MANEJO CONVENCIONAL, EM TRANSIÇÃO E  
ORGÂNICO NO NORTE DO ESTADO DO PIAUÍ.**

**Valdinar Bezerra dos Santos**

**Orientador: Prof. Dr. Wanderley José de Melo**

**Co-orientador: Prof. Dr. Ademir Sérgio Ferreira de Araújo**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

Jaboticabal – SP  
Junho - 2010

Santos, Valdinar Bezerra dos Santos  
S237a Atributos de solos sob cultivo de frutíferas em sistemas de  
manejo convencional, em transição e orgânico no norte do estado do  
Piauí./ Valdinar Bezerra dos Santos. -- Jaboticabal, 2010  
xviii, 120 f. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de  
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2001  
Orientador: Wanderley José de Melo  
Banca examinadora: Adeodato Ari Cavalcante Salviano, Cassio  
Hamilton Abreu Junior, Antonio Baldo Geraldo Martins, José Carlos  
Barbosa.  
Bibliografia

1. Solo-qualidade. 2 Neossolo Quartzarênico. 3. Solo-fertilidade.  
4. Biomassa microbiana. 5. Respiração basal. I. Título. II. Jaboticabal-  
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.531:634.0

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da  
Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Campus de  
Jaboticabal.

unesp



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
CÂMPUS DE JABOTICABAL  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS



### CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO:** ATRIBUTOS DE SOLOS SOB CULTIVO DE PRUTÍFERAS EM SISTEMAS DE MANEJO CONVENCIONAL, EM TRANSIÇÃO E ORGÂNICO NO NORTE DO ESTADO DO PIAUÍ


**AUTOR:** VALDINAR BEZERRA DOS SANTOS  
**ORIENTADOR:** Dr. WANDERLEY JOSE DE MELO  
**Co-Orientador(a):** DR. ADEMIR SÉRGIO FERREIRA DE ARAÚJO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL) pela Comissão Examinadora:

  
Dr. WANDERLEY JOSE DE MELO


  
~~Dr. JOSE CARLOS BARBOSA~~

  
Dr. ADEODATO ARI CAVALCANTE SALVIANO

  
Dr. ANTONIO BALDO GERALDO MARTINS

  
Dr. CASSIO HAMILTON ABREU JUNIOR

Data da realização: 18 de junho de 2010

  
Presidente da Comissão Examinadora  
Dr. WANDERLEY JOSE DE MELO

## DADOS CURRICULARES DO AUTOR

**Valdinar Bezerra dos Santos** nasceu em Teresina, Piauí, filho de Patrício Bezerra dos Santos e Antonia Teófilo de Moraes Santos. É Engenheiro Agrônomo, graduado em 1990 pela Universidade Estadual do Piauí, em Teresina. Obteve o título de mestre em Agronomia, área de concentração em Solos, em 2003, na Universidade Federal de Pelotas – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM), Rio Grande do Sul. Ingressou no curso de doutorado em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, da Unesp - Campus de Jaboticabal, em 2006. Iniciou a carreira profissional como professor substituto em 2003 na Universidade Estadual do Piauí e desde 2004 pertence ao quadro do professores efetivos da UESPI e atualmente é coordenador do curso de agronomia do Campus Alexandre Alves de Oliveira, Parnaíba, Piauí.

“Que Deus ilumine a cabeça e o coração de todos os seres humanos, pois viver feliz  
é a melhor forma de viver em Paz!!!.”

*Danielle Coutinho*

“A compaixão é que nos torna verdadeiramente humanos e impede que nos  
transformemos em pedra, como os monstros de impiedade das lendas”.

*Anatole France*

**PATRÍCIO BEZERRA**

Aos meus pais

e

**ANTONIA TEÓFILO**

**GUSTAVO PATRÍCIO**

Aos meus filhos

**GIOVANNA SOUSA**

**ASSIS BEZERRA**

Aos meus irmãos

e

**SOCORRO BEZERRA**

À minha tia

**MARIA BEZERRA DOS  
SANTOS**

**DEDICO.**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por mais esta oportunidade de aprendizagem e crescimento social, científico e espiritual.

Aos meus pais, Patrício e Antonia , aos meus irmãos Assis e Socorro e a esposa Cleide Sousa pela força durante a realização do Doutorado.

À Universidade Federal do Piauí, pelo apoio e pela oportunidade de realização do curso.

À Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal, em especial ao Departamento de Tecnologia, pela oportunidade e apoio para realização do curso;

Ao professor Dr. Wanderley José de Melo, pela orientação na execução do trabalho, o qual não poupou esforços para que as metas fossem atingidas;

Ao professor Dr. Ademir Sergio Ferreira, pela co-orientação apoio na execução das análises de laboratório na UFPI;

Aos produtores do DITALPI, pela liberação de suas áreas agrícolas para realização deste trabalho;

Aos bolsistas de iniciação de científica da UESPI: “As marias”: Maria Doroteia Marçal e Juciane Maria, pela ajuda na coleta e preparo das amostras, como também ao funcionário da UESPI e estudante de agronomia, Francisco Claudio, pela ajuda na coleta e apoio nas análises de Laboratório;

Ao motorista da UESPI, Francisco Neydson, pela ajuda nas coletas de amostras de solos;

Aos coordenadores do DINTER, professor Dr. Luiz Evaldo de Moura Pádua (Universidade Federal do Piauí) e professor Dr. Jairo Osvaldo Cazetta (Universidade Estadual Paulista), pela confiança e apoio demonstrados;

Aos professores Drs. Antonio Baldo Geraldo Martins, Domingos Fornasieri Filho, Edson Luis Mendes Coutinho, José Carlos Barbosa, Modesto Barreto e Renato de Melo Prado, pelos ensinamentos durante o curso;

Aos colegas de curso e as suas respectivas famílias, Francisco Luis Gonçalves de Abreu, Francisco de Assis Sinimbú Neto, Raimundo José de Sousa Rocha, José Orlando Piauilino Ferreira, Eulália Maria Sousa Carvalho, Paulo Roberto Santos Carvalho, Raimundo Tomaz da Costa Filho, Francisco Ferreira Santana, Hélio Lima Santos e Francisco Brito Melo;

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
LISTA DE TABELAS .....	xi
LISTA DE FIGURAS .....	xiv
RESUMO .....	xv
ABSTRACT .....	xvii
1.INTRODUÇÃO .....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	
2.1 Qualidade do solo .....	3
2.2 Indicadores de qualidade do solo .....	4
2.2.1 Indicadores químicos de qualidade do solo .....	6
2.2.1.1 Matéria orgânica e suas frações húmicas .....	7
2.2.1.2 Matéria orgânica do solo como indicador de qualidade do solo .....	10
2.2.1.4 Acidez do solo .....	8
2.2.1.5 Cálcio e o magnésio do solo .....	10
2.2.1.6 Fósforo .....	11
2.2.1.7 Potássio do solo .....	14
2.2.2 Indicadores microbiológicos de qualidade do solo .....	15
2.2.2.1 Biomassa microbiana do solo .....	16
2.2.2.2 Atividade microbiana .....	18
2.2.2.3 Índices microbiológicos .....	19

2.2.3 Os sistemas de manejo do solo .....	21
2.2.4 Sistema de manejo convencional do solo .....	21
2.2.5 Sistema de manejo em transição de convencional para orgânico.....	23
2.2.6 Sistema de manejo orgânico .....	24
2.2.7 Relação da matéria orgânica em sistemas de manejo do solo .....	25
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	28
3.1. Localização e caracterização das áreas em estudo.....	28
3.2 Descrições das áreas estudadas .....	28
3.3 Amostragem e análise nas amostras de solo.....	30
3.3.1 Amostragem .....	30
3.3.2 Análise granulométrica .....	30
3.3.3 Análise química de fertilidade.....	32
3.3.4 Fracionamento da matéria orgânica. ....	37
3.3.5 Análise dos indicadores microbiológicos. ....	40
3.3.6 Análise dos resultados. ....	46
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	47
4.1 Carbono orgânico. ....	47
4.2 Nitrogênio total . ....	49
4.3 pH do solo e acidez potencial .....	51
4.4 Alumínio trocável .....	53
4.5 Potássio, cálcio e magnésio .....	54
4.6 Fósforo extraível e saturação por bases .....	57
4.7 Carbono nas frações húmicas da matéria orgânica.....	58

4.8 Atributos microbiológicos .....	62
4.8.1 Carbono da biomassa microbiana .....	62
4.8.2 Nitrogênio da biomassa microbiana.....	65
4.8.3 Respiração basal do solo .....	66
4.8.4 Quociente metabólico .....	68
4.8.5 Quociente microbiano .....	70
5. CONCLUSÕES .....	72
6. REFERÊNCIAS .....	73

## LISTA DE TABELAS

	<b>Página</b>
1. Descrição das áreas sob sistemas de manejo convencional, transição de convencional para orgânico e orgânico cultivadas com frutas no norte do Estado do Piauí.....	29
2. Composição granulométrica de amostras de solo das áreas cultivadas com frutas, área de vegetação nativa e em todas em todas as profundidades analisadas. ....	31
3. Teores de carbono orgânico do solo (CO) em amostras de solo obtidas nas áreas cultivadas com frutas ou sob vegetação nativa no distrito de Irrigação dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí (DITALPI).....	47
4. Teores de Nitrogênio total (Ntotal) em amostras de solo obtidas nas áreas cultivadas com frutas ou sob vegetação nativa no distrito de Irrigação dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí (DITALPI).....	49
5. Valores de pH em amostras de solo obtidas nas áreas cultivadas com frutas ou sob vegetação nativa no distrito de Irrigação dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí (DITALPI). ....	51
6. Acidez potencial (H+Al) em amostras de solo obtidas nas áreas cultivadas com frutas ou sob vegetação nativa no distrito de Irrigação dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí (DITALPI).....	52
7. Alumínio trocável (Al) em amostras de solo obtidas nas áreas cultivadas com frutas ou sob vegetação nativa no distrito de Irrigação dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí (DITALPI).. ....	53
8. Teores de K <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> e Mg <sup>2+</sup> trocáveis e saturação de Bases (%V) em amostras de solo obtidas nas áreas cultivadas com frutas ou sob vegetação nativa no distrito de Irrigação dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí (DITALPI).....	55

<b>9.</b>	Teores de Fósforo de (P) em amostras de solo obtidas nas áreas cultivadas com frutas ou sob vegetação nativa no distrito de Irrigação dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí (DITALPI).....	57
<b>10.</b>	Teores de carbono da fração ácidos fúlvicos (FAF) da matéria orgânica em amostras de solo obtidas nas áreas cultivadas com frutas ou sob vegetação nativa no distrito de Irrigação dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí (DITALPI).....	58
<b>11.</b>	Teores de carbono da fração ácidos húmicos (FAH) da matéria orgânica em amostras de solo obtidas nas áreas cultivadas com frutas ou sob vegetação nativa no distrito de Irrigação dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí (DITALPI).....	60
<b>12.</b>	Teores de carbono da fração humina (FHUM) da matéria orgânica em amostras de solo obtidas nas áreas cultivadas com frutas ou sob vegetação nativa no distrito de Irrigação dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí (DITALPI).....	61
<b>13.</b>	Carbono microbiano(CBM) em amostras de solo obtidas nas áreas cultivadas com frutas ou sob vegetação nativa no distrito de Irrigação dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí (DITALPI).....	63
<b>14.</b>	Nitrogênio microbiano (NBM) em amostras de solo obtidas nas áreas cultivadas com frutas ou sob vegetação nativa no distrito de Irrigação dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí (DITALPI).....	65
<b>15.</b>	Respiração basal (Resp.basal) em amostras de solo obtidas nas áreas cultivadas com frutas ou sob vegetação nativa no distrito de Irrigação dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí (DITALPI) .....	66
<b>16.</b>	Quociente metabólico (qCO <sub>2</sub> ) em amostras de solo obtidas nas áreas cultivadas com frutas ou sob vegetação nativa no distrito de Irrigação dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí (DITALPI).....	68

17. Quociente microbiano (qMic) em amostras de solo obtidas nas áreas cultivadas com frutas ou sob vegetação nativa no distrito de Irrigação dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí (DITALPI).....	70
--	----

**LISTA DE FIGURAS**

	<b>Página</b>
1. Método de extração e fracionamento das frações húmicas da matéria orgânica do solo.....	38

## ATRIBUTOS DE SOLOS SOB CULTIVO DE FRUTÍFERAS EM SISTEMAS DE MANEJO CONVENCIONAL, EM TRANSIÇÃO E ORGÂNICO, NO NORTE DO ESTADO DO PIAUÍ.

**RESUMO** - O conhecimento das alterações nos atributos químicos e biológicos relacionados aos sistemas de manejo do solo podem conduzir a um entendimento dos processos de evolução e degradação. O objetivo deste estudo foi avaliar atributos de solos sob cultivo de frutíferas em sistemas de manejo convencional, em transição de convencional para orgânico e orgânico em Neossolo Quartzarênico no norte do Estado do Piauí. Neste estudo foram selecionadas seis áreas: goiaba (*Psidium guajava* L.) no sistema convencional por 3 anos – GSC; coco (*Cocos nucifera* L.) no sistema convencional por 5 anos – CSC; goiaba em transição de sistema convencional para orgânico, com 5 anos no sistema convencional e 2 anos no sistema orgânico – GTO; coco em transição do sistema convencional para orgânico, com 5 anos no sistema convencional e 2 anos no sistema orgânico – CTO; acerola (*Malpighia emarginata*) em sistema orgânico por 3 anos – ASO e área com vegetação nativa adjacente aos cultivos com frutas, que foi considerada como referência – AVN. As diferentes áreas foram divididas em quatro subáreas com 300 m<sup>2</sup>, onde foram abertas, aleatoriamente, quatro trincheiras de 0,30 x 0,30 m eqüidistantes de 10 m. As profundidades de amostragem foram de 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,15; 0,15-0,20 m. Nas áreas sob cultivo e área nativa, as trincheiras foram abertas sob a copa das plantas. Os atributos avaliados foram: atributos químicos (carbono orgânico, nitrogênio total, pH em água, acidez potencial, alumínio trocável, potássio, cálcio, magnésio, fósforo e V%); carbono das frações da matéria orgânica do solo (ácidos fulvicos, ácidos húmicos e húmica) e atributos microbiológicos (carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, respiração basal, quociente metabólico e quociente microbiano). O manejo do solo nos sistemas convencional e orgânico promoveu diferentes comportamentos dos atributos químicos e biológicos. As práticas agrícolas empregadas na área cultivada com acerola no sistema orgânico e área cultivada com coco em transição para orgânico proporcionam em

aumento do carbono orgânico, nitrogênio total, pH, fósforo extraível e bases trocáveis ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ ) e menor acidez potencial e alumínio trocável. Os maiores teores de carbono das frações ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e húmica foram encontrados nas áreas ASO, GTO e CTO, com valores superiores a AVN. Nas áreas GSC e CSC, houve redução nos teores de carbono das frações húmicas.

**Palavras-chave:** Qualidade do solo; Neossolo Quartzarênico; fertilidade do solo, biomassa microbiana, respiração basal

**ATRIBUTOS DE SOLOS SOB CULTIVO DE FRUTÍFERAS EM SISTEMAS DE MANEJO CONVENCIONAL, EM TRANSIÇÃO E ORGÂNICO, NO NORTE DO ESTADO DO PIAUÍ.**

**ATTRIBUTES OF SOILS CROPPED WITH FRUIT TREES UNDER CONVENTIONAL, SHIFTING TO ORGANIC AND ORGANIC TILLAGE IN THE NORTH OF PIAUÍ, BRAZIL.**

**ABSTRACT** - The knowledge of changes in chemical and biological systems related to soil management can lead to an understanding of the processes of evolution and degradation. The aim of this study was to evaluate attributes of soils under cultivation of fruits in conventional tillage systems in transition from conventional to organic and organic Typic Quartzipsamment in the northern state of Piauí. In this study we selected six areas: guava (*Psidium guajava* L.) in a conventional system for three years - GSC; coconut (*Cocos nucifera* L.) in a conventional system for five years - CSC; guava in transition from conventional to organic, with 5 years in the conventional and organic system in two years - GTO; coconut in transition from conventional to organic, with five years in the conventional and organic system in two years - CTO, Acerola (*Malpighia emarginata*) in an organic system for three years - ASO and area of native vegetation adjacent to crops with fruit, which was considered as a reference - AVN. The different areas were divided into four sub-areas with 300 m<sup>2</sup>, which were opened at random, four trenches of 0.30 x 0.30 m equidistant from 10 m. The sampling depths were 0-0.05, 0.05-0.10, 0.10-0.15 0.15-0.20 m. In areas under cultivation and native area, the trenches were open under the canopy. The attributes evaluated were: chemical properties (organic carbon, total nitrogen, pH, potential acidity, exchangeable aluminum, potassium, calcium, magnesium, phosphorus and V%) carbon fractions of soil organic matter (fulvic acids, humic acids and humin) and the microbial (carbon and nitrogen of microbial biomass, basal respiration, metabolic quotient and microbial quotient). Soil management in organic and conventional systems promoted different behaviors of chemical and biological. Agricultural practices employed in the area planted with cherry in the organic system and the area cultivated with coconut in transition to organic offer in an increase in organic carbon, total nitrogen, pH, phosphorus and exchangeable bases (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> and K<sup>+</sup>) and lower acidity and exchangeable

aluminum. The higher carbon content of fulvic acid, humic acids and humin were found in areas ASO, GTO and CTO, with values exceeding AVN. GSC areas and CSC, a reduction in carbon content of humic fractions.

**Key words:** soil quality; Typic Quartzipsamment; soil fertility, microbial biomass, basal respiration.

## 1 INTRODUÇÃO

A modernização da agricultura, que vem ocorrendo a partir da metade do século XX, trouxe inovações tecnológicas, como o uso de fertilizantes, agrotóxicos e de variedades de plantas geneticamente modificadas. Isso promoveu diminuição da fome mundial, aumento de produtividade e conseqüentemente aumento da economia de países com grande disponibilidade de áreas agricultáveis. Entretanto, as combinações dessas tecnologias, aliadas às práticas de mecanização e monocultivo, causam a degradação do solo, poluição dos recursos hídricos, desequilíbrio dos ecossistemas e impactos sobre a saúde humana.

O Distrito Irrigado dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí (DITALPI), com área de dez mil hectares, localizado entre os municípios de Parnaíba e Buriti dos Lopes, está inserido no Território da Planície Litorânea (BRASIL, 2006), sendo o principal Distrito irrigado de cultivo de frutas orgânicas do país em área pública e um dos principais celeiros de fruticultura do Estado do Piauí. Em 2002 foram iniciadas as atividades ligadas à agricultura orgânica, inicialmente com a produção de acerola. Atualmente, há cerca de 300 hectares cultivados sem o uso de agrotóxicos e fertilizantes industriais envolvendo culturas como da acerola, caju, melancia e coco. Existe uma área do Distrito em fase de transição do manejo convencional para o orgânico e uma tendência, em médio prazo, de conversão de toda a área do DITALPI para produção orgânica.

Atualmente, um dos desafios da agricultura é produzir de forma sustentável e, juntamente com esta nova visão, a consolidação de sistemas de produção, que concilia desenvolvimento agrícola, produção de alimentos saudáveis com qualidade e manutenção dos recursos naturais. Assim, a busca por sistemas de produção que preconizam o equilíbrio do meio ambiente e a qualidade de vida humana fez ressurgir e ganhar espaço o sistema de produção orgânica, sistema esse que se baseia na rotação de culturas, no controle biológico de pragas, no uso de esterco animal e adubação verde com leguminosas para manter a qualidade e produtividade do solo e fornecer nutrientes para as plantas.

O sistema de produção orgânico, que adota práticas que melhoram a qualidade do solo, irá favorecer a produtividade, reduzir a erosão, manter a estrutura do solo e aumentar a eficiência do uso da água e nutrientes. As melhorias na qualidade do solo nesse sistema de cultivo são observadas quando comparado ao sistema convencional.

A qualidade do solo pode ser avaliada através dos atributos físicos, químicos e biológicos. Os indicadores biológicos são sensíveis e evidenciam rapidamente às mudanças no ambiente do solo em função do sistema de manejo adotado. Dentre os atributos biológicos que refletem as alterações na dinâmica da matéria orgânica, encontra-se a biomassa microbiana, que controla o fluxo e ciclagem de nutrientes, além de constituir o compartimento central do carbono no solo. A qualidade do solo, em relação à matéria orgânica, varia conforme o sistema de manejo adotado e a quantidade e qualidade do material depositado sobre o solo. Uma das formas de diagnosticar estas diferenças é pela determinação do carbono orgânico(CO), importante indicador de impactos de práticas de manejo. A determinação do CO possibilita o diagnóstico do estoque de carbono orgânico, que serve de subsídio para avaliar o balanço das perdas de carbono, influenciado pelos sistemas de cultivo, e assim, auxiliar na escolha e planejamento de sistema de cultivo que mantenha ou melhore a qualidade do solo.

Tendo em vista a preocupação com o ambiente e o uso do solo de forma sustentável, o Distrito de Irrigação dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí – DITALPI vem ganhando destaque pela produção de frutas cultivadas em sistema orgânico, despontando a idéia de ser, futuramente, um pólo agrícola orgânico. Apesar do grande crescimento da atividade e conscientização dos produtores, uma pequena minoria ainda adota o sistema de manejo convencional, sendo que grande parte destas áreas estão em período de conversão.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi comparar a qualidade do solo em sistema convencional, em transição e orgânico no cultivo de frutas na região dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí mediante avaliação de atributos considerados indicadores de qualidade do solo.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

O manejo do solo é um fator determinante da sua qualidade e, por conseqüência, da sua capacidade de fornecer nutrientes e de produzir alimentos afim de atender às necessidades de sobrevivência humana (FREIXO, 2000). A intensificação de práticas agronômicas tem ocasionado alto impacto sobre a biodiversidade dos agroecossistemas. A disponibilidade dos nutrientes, o teor de matéria orgânica e de seus constituintes, a biomassa microbiana e sua atividade, são atributos sensíveis às mudanças no manejo solo, sendo objeto de estudo em diversos trabalhos com o propósito de saber o sistema de manejo adequado para manutenção da produtividade das culturas e sustentabilidade dos agrossistemas.

### **2.1 Qualidade do solo**

A discussão sobre qualidade do solo intensificou-se no início dos anos 90, quando a comunidade científica, consciente da importância do solo para a qualidade ambiental, começou a manifestar a preocupação com a degradação dos recursos naturais, com a sustentabilidade agrícola e com a função do solo (VEZZANI & MIELNICZUK, 2009).

Devido ao crescimento populacional e à crise de alimentos no mundo, o manejo intensivo do solo, a monocultura e o uso de pesticidas e fertilizantes tornaram-se práticas comuns para o aumento da produção agrícola. A utilização destas práticas tem ocasionado perda de matéria orgânica do solo, erosão e contaminação dos mananciais hídricos, além de prejuízos à microbiota e seus processos bioquímicos (ARAÚJO & MONTEIRO, 2007). A preocupação com a qualidade do solo tem crescido na medida em que seu uso e mobilização intensiva podem redundar na diminuição de sua capacidade em manter uma produção biológica sustentável (CARVALHO et al., 2004). Nas últimas décadas, a avaliação da qualidade do solo tem merecido destacada atenção, e a quantificação de alterações nos seus atributos, decorrentes da intensificação de sistemas de uso e

manejo, tem sido amplamente realizada para monitorar a produção sustentável dos solos (NEVES et al., 2004) e, conseqüentemente, a conservação dos recursos naturais.

A qualidade do solo se relaciona com sua capacidade em desempenhar funções que interferem na produtividade de plantas e animais e no ambiente, podendo mudar com o passar do tempo em decorrência de eventos naturais ou uso humano, e pode ser definido como a capacidade em funcionar dentro do ecossistema para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde das plantas e animais (DORAN & PARKIN, 1994; ARAÚJO & MONTEIRO, 2007; ARAÚJO et al., 2008).

Sabe-se que a rápida degradação do solo sob exploração agrícola no mundo, especialmente em países tropicais em desenvolvimento, resulta quase sempre do seu manejo inadequado, o que constitui, portanto, uma ameaça para a sustentabilidade e qualidade do meio ambiente (LAL, 1989; REICOSKY et al., 1995). Como consequência, tem crescido o interesse em se avaliar a qualidade do solo submetido a diferentes processos de cultivo a fim de definir a tecnologia mais racional de uso do solo. Vários trabalhos compararam a qualidade de solos de regiões tropicais sob diferentes sistemas agrícolas, podendo-se destacar: D'andréia et al. (2002), Goedert et al. (2002), Mendes et al. (2003), Oliveira et al. (2004) e Dufranc et al. (2004).

## **2.2 Indicadores de qualidade do solo**

A qualidade do solo, como um importante indicador da sustentabilidade de agroecossistemas, tem seu monitoramento feito a partir do comportamento de indicadores ao longo do tempo, ou comparando seus desempenhos com valores de referência, que podem ser estabelecidos a partir de resultados de pesquisa ou obtidos em ecossistemas naturais, localizados nas mesmas condições do solo avaliado (DORAN & PARKIN, 1994; KARLEN et al., 1997).

Dias & Griffith (1998) indicam uma série de atributos para definição de alterações do solo, no sentido da perda de condições originais favoráveis para o suporte e desenvolvimento de espécies vegetais, resultando no processo de degradação. Entre eles, destacam-se profundidade do solo, textura, densidade do solo, capacidade de retenção de água (indicadores físicos), carbono orgânico total, pH, nitrogênio, condutividade elétrica, fósforo e potássio (indicadores químicos) e taxa de respiração (indicador biológico).

Segundo Islam & Weil (2000), os possíveis indicadores da qualidade do solo podem ser divididos em três grupos, a saber: 1) efêmeros, cujas alterações se dão rapidamente no tempo de acordo com o manejo, como a acidez, a disponibilidade de nutrientes e a compactação do solo, 2) intermediários, que dependem da influência dos processos que ocorrem no solo, tais como teor de carbono orgânico total, agregação e biomassa microbiana e, 3) permanentes, que são inerentes às características do solo, como profundidade, textura e mineralogia.

No monitoramento da qualidade do solo, os atributos usados como indicadores de mudanças devem ser sensíveis ao manejo numa escala de tempo que permita a verificação (DORAN & PARKIN, 1994). Os atributos considerados indicadores de mudanças na qualidade do solo devem ter a capacidade de serem sensíveis ao manejo numa escala de tempo que permita a verificação de suas alterações (ISLAM & WEIL, 2000). Embora, quantificar a qualidade do solo não é tarefa fácil; a dificuldade advém do fato de que a qualidade do solo depende de suas propriedades intrínsecas, de suas interações com o ecossistema e, ainda, de prioridades de uso, influenciadas inclusive, por aspectos socioeconômicos e políticos (COSTA et al.,2006).

Essa avaliação é complexa e deve ser realizada em função de um conjunto de indicadores específicos, denominados atributos e suas inter-relações, já que se tem verificado que indicadores isolados não são suficientes para explicar a perda ou o ganho potencial dos cultivos de determinado solo. Observa-se que, com o aumento do conhecimento dos sistemas conservacionistas, verifica-se a necessidade da utilização de um conjunto de indicadores e, eventualmente, a inclusão deles em um modelo de avaliação da qualidade do solo (NICOLODI, 2006).

Embora no solo, existem diversas inter-relações entre os atributos físicos, químicos e biológicos que controlam os processos e os aspectos relacionados à sua variação no tempo e no espaço (CARNEIRO et al., 2009). Assim, qualquer alteração no solo pode alterar diretamente sua estrutura e sua atividade biológica e, conseqüentemente, sua fertilidade, com reflexos nos agroecossistemas (BROOKES, 1995), podendo promover prejuízos à qualidade do solo e à produtividade das culturas.

Diante disso, a variação desses atributos, determinada pelo manejo e uso do solo, e sua avaliação são importantes para o melhor manejo visando à sustentabilidade do sistema.

### **2.2.1 Indicadores químicos de qualidade do solo**

Existem indicadores químicos do solo que podem ser usados para diagnosticar a sua capacidade em promover o desenvolvimento das plantas, mantendo a sua produtividade e a qualidade ambiental (MARTINAZZO, 2006). Estes indicadores são usados para um diagnóstico da sua capacidade em promover o desenvolvimento das plantas, mantendo a sua produtividade e a qualidade ambiental. Esses atributos devem ser sensíveis às variações do manejo e correlacionados com as funções desempenhadas pelo solo (DORAN & ZEISS, 2000).

Os indicadores químicos cujas alterações se dão rapidamente no tempo de acordo com o manejo são: acidez, a disponibilidade de nutrientes, a capacidade de troca de cátion (CTC), saturação por Alumínio e saturação por bases, são os mais utilizados em estudos realizados em curto espaço de tempo, em função de seus reflexos imediatos a forma de uso do solo e a ferramenta mais utilizada para esse diagnóstico tem sido a análise do solo (MARTINAZZO, 2006).

Os indicadores efêmeros são os mais utilizados em estudos realizados em curto espaço de tempo, em função de seus reflexos imediatos a forma de uso do solo e a ferramenta mais utilizada para esse diagnóstico tem sido a análise do solo,

embora os intermediários também devam ser considerados (MARTINAZZO, 2006). De acordo com MAGALHÃES (2007), considera a calagem e a adubação, os responsáveis por até 100% do aumento da produtividade dos cultivos, embora dependem do conhecimento prévio das características químicas do solo. E só a análise química do mesmo permitirá também a identificação de barreiras químicas, a exemplo do alumínio, que poderão prejudicar o desenvolvimento do sistema radicular das plantas”.

O conhecimento dos teores de nutrientes disponíveis no solo orienta na formulação das recomendações mais acertadas para a adubação das plantas, evitando-se o desperdício e o uso inadequado de adubos e corretivos e prejuízo, que haveria tanto nas despesas com adubação como na redução das colheitas.

Segundo Mello et al. (1983) citado por Chaves et al. (2005), um solo pode ser considerado fértil, quando, além de conter quantidades suficientes e em proporções adequadas dos nutrientes essenciais às plantas e livre de elementos tóxicos, apresentar, também, propriedades físicas satisfatórias. Segundo Coelho & Verlengia (1973), com exceção do pH dos solos, as propriedades químicas apresentam maior variação do que as propriedades físicas dos solos.

### **2.2.1.2 Matéria orgânica e suas frações húmicas**

A matéria orgânica do solo desempenha várias funções no ambiente, especialmente na ciclagem e retenção de carbono, armazenamento de água e agregação, fatores determinantes para a manutenção e melhoria da qualidade do solo e do ambiente. Assim, pela importância das suas funções no ambiente, o monitoramento dos estoques de carbono orgânico tem sido considerado um dos principais indicadores de qualidade (PILLON et al., 2007). Apesar de a matéria orgânica encontrar-se numa faixa de apenas 1 a 6% em percentagem de peso na maioria dos solos, quando é bem manejada, a quantidade e qualidade da matéria orgânica levam a um aumento na disponibilidade de nutrientes e na diversidade

biológica, além de melhorar as propriedades físicas e químicas do solo (ALTIERI, 1999).

A matéria orgânica do solo (MOS) é constituída, em sua maior parte, por substâncias húmicas mais estáveis, de difícil degradação. Essas substâncias são formadas a partir da transformação dos resíduos orgânicos realizada pela a biomassa microbiana presente no solo e pela polimerização dos compostos orgânicos processados até a síntese de macromoléculas resistentes à degradação biológica (CAMARGO et. al., 1999).

Segundo Stevenson (1994), as substâncias húmicas (humina, ácidos fúlvicos e ácidos húmicos) são consideradas a parte final da evolução da MOS e representam cerca de 70% do C presente no solo; são diferenciadas, principalmente, através dos grupos funcionais (fenólicos, carboxílicos, entre outros) e grau de polimerização. Os ácidos húmicos são insolúveis em meio ácido e solúveis em meio básico e possuem estrutura grande (8 Å) e complexa, quando comparados com os ácidos fúlvicos, completamente hidrossolúveis, com tamanho pequeno (2 Å), maiores grupamentos carboxílicos e de oxigênio e menor concentração de C, favorecendo sua percolação no solo. No caso da humina, esta é insolúvel em meio ácido e básico e tem maior grau de polimerização que os ácidos fúlvicos e húmicos (PRIMAVESI, 1990; SCHNITZER et al., 1991).

A natureza do húmus do solo pode variar substancialmente com clima, vegetação e condições do próprio solo. E a concentração com a proporção com que estas frações são encontradas nos solos tem servido como indicador de qualidade dos solos em diversos trabalhos, devido a forte interação das substâncias húmicas com o material mineral do solo (FONTANA et. al. 2001)

As substâncias húmicas, o maior reservatório terrestre de carbono orgânico na Terra, tem um papel importante na fertilidade e na estabilização de agregados do solo. Embora possuam um alto grau de resistência a biodegradação no solo, elas degradam, e o estado estacionário da síntese é atingido através de um decaimento característico, o qual depende do tipo de solo e da forma que é manejado (HAYES & MALCOLM, 2001). A matéria orgânica de solo originada de lugares cultivados apresenta um estágio de humificação mais avançado do que solos sob a vegetação

nativa (BAYER et al., 2000). O aumento do grau de humificação da MOS ocorre devido a mudanças no regime microclimático do solo e pela quebra de agregados no sistema de manejo convencional (BALESDENT et al., 2000).

Estudando o húmus de solos brasileiros, Volkoff & Cerri (1988) concluíram que a acidez, a aeração e a temperatura, nessa ordem de importância, são os principais fatores que determinam a natureza do húmus. A distribuição das frações ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e huminas em função das condições ambientais foi estudada por Volkoff & Cerri (1988).

Segundo Vaughan & Ord (1985), a importância das frações humificadas na dinâmica dos elementos no solo, se estende também às interações com os fertilizantes, podendo aumentar ou reduzir sua efetividade, além de amortecer os efeitos adversos de altas doses, regulando desta forma, as condições de nutrição mineral das plantas

Dos componentes orgânicos, o húmus do solo é o mais significativo. Húmus é composto de frações solúveis chamadas ácidos húmicos e fúlvicos, e uma fração insolúvel chamada humina. É o resíduo originado quando bactérias e fungos biodegradam o material das plantas.

As substâncias húmicas são produtos da degradação oxidativa e subsequente polimerização da matéria orgânica animal e vegetal. Elas são constituídas por uma mistura de compostos de elevada massa molar com uma grande variedade de grupos funcionais. Suas características moleculares podem variar dependendo da idade ou da origem do material sendo, por isso, definidas operacionalmente (RAUEN et. al., 2002). Assim, com base nas suas respectivas solubilidades são classificadas em: humina (insolúvel em meio aquoso) ácidos fúlvicos (solúveis em água em qualquer pH) e ácidos húmicos (solúveis em água em pH alcalino).

Segundo Fontana et. al. (2001) a natureza do húmus do solo pode variar substancialmente com clima, vegetação e condições do próprio solo. E a concentração com a proporção com que estas frações são encontradas nos solos tem servido como indicador de qualidade dos solos em diversos trabalhos, devido a forte interação das substâncias húmicas com o material mineral do solo.

### **2.2.1.3 Matéria orgânica do solo como indicador de qualidade do solo**

O uso intensivo da terra invariavelmente causa efeitos negativos ao ambiente e produção agrícola se práticas conservativas não forem adotadas. Redução na quantidade de matéria orgânica do solo significa emissão de gases (principalmente CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) para a atmosfera e aumento do aquecimento global. A sustentabilidade do solo é também afetada, uma vez que a qualidade da matéria orgânica remanescente muda. Alterações podem ser verificadas, por exemplo, pela desagregação do solo e mudança na sua estrutura. As conseqüências são erosão, redução na disponibilidade de nutrientes para as plantas e baixa capacidade de retenção de água no solo. Estes e outros fatores refletem negativamente na produtividade das culturas e sustentabilidade do sistema solo planta-atmosfera. Ao contrário, a adoção de boas práticas de manejo, tal como o sistema plantio direto, pode parcialmente reverter o processo, uma vez que objetiva o aumento das entradas de material orgânico no solo e/ou diminuição das taxas de decomposição da matéria orgânica do solo (PALM & SANCHEZ, 1991).

Em solos tropicais e subtropicais altamente intemperizados a MO tem grande importância para o fornecimento de nutrientes as culturas, à retenção de cátions, complexão de elementos tóxicos e de micronutrientes, a estabilidade da estrutura, infiltração e retenção da água, aeração, e atividade e biomassa microbiana, tornando-se assim um elemento fundamental à sua capacidade produtiva (BAYER et al. 2000).

A decomposição da matéria orgânica é fator chave na condução dos processos biológicos no solo e a interação com as propriedades físico-químicas, em conjunto, resultam na fertilidade. O reconhecimento de que a matéria orgânica do solo (MOS) tem papel central na determinação da fertilidade do solo, tem levado parte dos cientistas do solo à necessidade de se manejar a matéria orgânica e principalmente aumenta o teor da MOS. Pressupõe-se que um aumento na quantidade de MOS levará a uma melhoria na fertilidade do solo (MACHADO, 2001)

O reconhecimento de que a matéria orgânica do solo (MOS) tem papel central na determinação da fertilidade do solo, tem levado parte dos pacientes do

solo à necessidade de se manejar a matéria orgânica e principalmente aumentar o teor da MOS. Pressupõe-se que um aumento na quantidade de MOS levará a uma melhoria na fertilidade do solo (MACHADO, 2001). Nem todos os componentes das matérias orgânicas incorporados ao terreno apresentam a mesma resistência à decomposição. Alguns são prontamente atacados e decompostos pelos microrganismos, outros são altamente resistentes à decomposição (BRADY, 1989)

A matéria orgânica no solo (MOS) apresenta-se como um sistema complexo de substâncias, cuja dinâmica é governada pela adição de resíduos orgânicos de diversas naturezas e por uma transformação contínua sob ação de fatores biológicos, químicos e físicos (CAMARGO et al. 1999). Estes autores ainda ressaltam que cerca de 10 a 15% da reserva total do carbono orgânico nos solos minerais é constituída por macromoléculas (proteínas e aminoácidos, carboidratos simples e complexos, resinas, ligninas e outros), e 85 a 90% pelas substâncias húmicas propriamente ditas.

O carbono orgânico (CO) é um dos atributos mais promissores para detectar as alterações na qualidade do solo, por demonstrar bastante sensibilidade às perturbações causadas pelos sistemas de manejo (SILVA, 2006).

O carbono orgânico é um atributo muito importante por atuar nos atributos químicos, físicos e biológicos (LARSON & PIERCE, 1994; SOUZA et al., 2006)

Em áreas que não sofreram ação antrópica o carbono orgânico encontra-se estável, porém quando esses solos são submetidos ao manejo intensivo sofrem perdas na sua qualidade e quantidade (ADDISCOT, 1992, citado por SOUZA et al., 2006). De acordo com Buso & Kliemann (2003) a perda de carbono do solo corresponde à soma das perdas por oxidação, erosão e lixiviação.

#### **2.2.1.4 Acidez do solo**

A acidificação do solo é um processo natural e sua intensidade depende de fatores intrínsecos do solo e das perturbações a que o sistema é submetido (KAMINSKI & RHEINHEIMER, 2000).

Os solos têm comportamento semelhante a ácidos fracos, contendo quantidade muito pequena de hidrogênio ionizado na solução do solo, mas uma grande quantidade de  $H^+$  adsorvido na fase sólida. Assim, quando se adiciona  $OH^-$ , neutralizando o hidrogênio da solução do solo, a fase sólida libera  $H^+$  para manter certo equilíbrio em solução. Isto caracteriza o poder tampão do solo, ou seja, a resistência do mesmo às mudanças de pH (MARQUES, 2006).

O pH da solução do solo influencia a concentração e a forma iônica dos seus nutrientes, como também a absorção e a utilização pela planta, sendo, portanto das propriedades químicas do solo que mais afeta a produção agrícola (FRAGERIA et al., 1997 citado por MARIN et al., 2006).

A acidez é uma característica generalizada dos solos agrícolas brasileiros, causando principalmente diminuição na disponibilidade de cátions nutrientes (Ca, Mg, K) e aumento na solubilidade de cátions tóxicos (H, Al). A deficiência de Ca e a toxidez de Al são as principais limitações químicas para o crescimento radicular, cujas conseqüências se manifestam pelo estresse nutricional e hídrico nas plantas (FRANCHINI et al., 2001). O diagnóstico da acidez do solo é feito pela interpretação dos valores de pH em água e pela porcentagem da saturação da CTC por bases, pressupondo-se que não há presença de elementos tóxicos, em especial Al (MARTINAZZO, 2006).

Efeitos benéficos do manejo orgânico de solos ácidos têm sido observados em diversos sistemas agrícolas, cujos principais alterações químicas na camada de 0 a 0,20 m de profundidade são: elevação do pH e do teor de Ca em detrimento do  $Al^{3+}$  (HUE & AMIEN, 1989; FRANCHINI et al, 1999)

O hidrogênio e alumínio chamado de acidez potencial são constituídos de duas partes distintas da acidez do solo como acidez trocável Al e acidez não trocável H (QUAGGIO, 2000).

O teor de alumínio no solo na forma trocável é que serve como diagnostico da necessidade de calagem. A análise de alumínio está baseada na reação de hidrolise dos íons de alumínio com a liberação de íons de hidrogênio na solução. O uso de hidróxido de sódio representa uma reação de neutralização de íons hidrogênio (LOPES et al, 1990).

A soma de hidrogênio e alumínio corresponde à acidez potencial do solo, sua determinação é pH 7.0 onde permite estimar a capacidade de troca de cátions, somando seu valor a soma de bases. O método de referencia para extração da acidez potencial dos solos é o da solução de acetato de cálcio 1N a pH 7,0 (QUAGGIO et al, 1985).

### **2.2.1.5 Cálcio e o magnésio do solo**

Os solos arenosos necessitam de menor conteúdo de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) do que os argilosos a fim de apresentar boa disponibilidade desses nutrientes às plantas (PRADO, 1991).

A quantidade de  $\text{Ca}^{2+}$  nos solos varia em função do material de origem, das condições de clima e das praticas culturais, pode ocorrer como quelados ou simplesmente adsorvido na matéria orgânica, da qual pode sair no processo de mineralização. É um nutriente com papel preponderante no crescimento radicular das plantas (PRADO e NATALE, 2004). Quanto à saturação de cálcio no complexo de troca é inferior a 20 %, há forte limitação ao crescimento das raízes no solo, na maioria das espécies cultivadas (QUAGGIO, 2000).

O  $\text{Mg}^{2+}$  por sua vez tem origem primária e também em rochas ígneas, onde ocorre em minerais no complexo de troca catiônica com a solução do solo, que é a forma absorvida pelas plantas, (RAIJ, 1991). A principal fonte de  $\text{Mg}^{2+}$  nas condições naturais que liberam para o solo e deste para a planta são as rochas eruptivas, sedimentares e metamórficas (COELHO & VERLENGIA, 1973).

O  $\text{Mg}^{2+}$  possui uma particularidade, que não ocorre com o cálcio, que é a possibilidade de formas não trocáveis converterem-se em trocáveis, por liberação dos minerais, de forma similar ao que acontece com o potássio (RAIJ, 1991).

Uma das características dos solos das regiões tropicais é a reação ácida e a pobreza em cátions básicos, como o cálcio e magnésio, é uma constante. Desse modo, a aplicação de calcário é o meio mais importante, barato, rápido e eficiente para sanar ambos os problemas (NATALE et al, 2005). Os solos virgens são os que

apresentam os menores teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ . Nos demais solos, o efeito residual de calagem pode ter contribuído para o aumento dos teores desses elementos.

#### **2.2.1.6 Fósforo**

A absorção de fósforo depende da capacidade do solo em liberar o nutriente da fase sólida, ou seja, do poder tampão do solo. Em geral, o poder tampão de P dos solos argilosos é maior do que os dos solos arenosos. Solos argilosos possuem maior quantidade de minerais que têm a propriedade de reter P na superfície. Em virtude dessas diferenças entre os tipos de solo, quando o diagnóstico do P é feito pelo método Mehlich I, o teor de P extraído aumenta com o decréscimo do teor de argila (MARTINAZZO, 2006).

Inúmeros métodos de extração têm sido propostos para diagnosticar o grau de disponibilidade do fósforo para as plantas, sendo geralmente agrupados em métodos químicos, físico-químicos e biológicos (MOREIRA et al, 1997). Segundo Novais (1999), com o uso do extrator Mehlich-1, valores superestimados do fósforo disponível são verificados em solos com domínio de P-Ca, o que pode ser decorrente de sua gênese ou da alteração das condições do meio com a aplicação de corretivos de acidez. Os extratores ácidos (Bray 1, Mehlich 1 e Mehlich 3) extraem o P ligado ao Ca e, em menor proporção, o P ligado ao Fe e Al (MOREIRA et al., 1997).

#### **2.2.1.7 Potássio do solo**

A disponibilidade de potássio para as plantas é função das características químicas e mineralógicas do solo, razão por que há diferentes respostas nos diferentes grupos de solos. Assim, solos argilosos, por exemplo, que têm maior CTC, podem receber adubações maiores de potássio que os solos arenosos, que têm baixa CTC. Como as reações que governam a disponibilidade são de sorção-dessorção, os grupos funcionais responsáveis pela carga no solo também exercem

importante papel (MARTINAZZO, 2006). Segundo Rosolem et al. (2006), o potássio disponibilizado da palha, assim como aquele adicionado via adubação potássica, dependendo da quantidade de chuva, da dose de nutrientes aplicados e da textura do solo, entre outros fatores, podem ser intensamente lixiviados no perfil do solo, o que faz com que o manejo de adubação potássica seja importante, do ponto de vista econômico e ambiental.

O potássio é um elemento muito abundante em rochas e em solos, grande parte é encontrada em minerais que contem o elemento nas estruturas cristalinas, o potássio é absorvido pelas plantas da solução do solo na forma iônica de  $K^+$ , semelha-se com fósforo na absorção pela planta (RAIJ, 1991).

Segundo Coelho & Verlengia (1973) os solos de regiões áridos e semi-áridos contem geralmente mais potássio do que aqueles de textura semelhante em regiões úmidas, principalmente porque nas regiões áridas e semi-áridas não chove suficientemente, não há água para provocar a lixiviação de materiais solúveis.

### **2.2.2 Indicadores microbiológicos de qualidade do solo**

Dentre os vários indicadores de qualidade do solo os de caráter microbiológicos tem sido cada vez mais avaliados como os mais sensíveis, dado o relacionamento entre atividade e biodiversidade microbiana, qualidade do solo e da vegetação e sustentabilidade do ecossistema (DORAN & PARKIN, 1994).

Os indicadores microbiológicos podem ser de grande importância, na avaliação precoce de eventuais efeitos adversos do manejo sobre a qualidade do solo, o que permite a adoção antecipada de medidas corretivas ou de controle, além de permitir identificar o que ocorre com o sistema de manejo em curso, ou seja, se contribui para aumentar ou diminuir a sustentabilidade do sistema de produção (CHAER & TÓTOLA, 2007).

Como a microbiota do solo é a principal responsável pela decomposição dos compostos orgânicos, pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia do solo, a biomassa microbiana e sua atividade têm sido apontadas como as características

mais sensíveis às alterações na qualidade do solo, causadas por mudanças de uso e práticas de manejo (TRANNIN et al., 2007).

Alterações relativamente pequenas nas condições do sistema do solo, as quais desencadearão processos mais complexos de melhoria ou perda na sua qualidade, podem ser achadas com a análise de atributos microbiológicos, como a biomassa microbiana do solo e seus índices derivados (ROSCOE et al., 2006).

### **2.2.2.1 Biomassa microbiana do solo**

Os microrganismos representam cerca de 60% a 80% da fração viva e mais ativa da matéria orgânica do solo. Por constituir a fração viva da matéria orgânica, a biomassa microbiana, é responsável por diversos processos biológicos e bioquímicos no solo (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006), possuindo relação direta com as condições do solo. Por este motivo, a biomassa microbiana pode ser utilizada como indicador de qualidade do solo, pois é grandemente influenciada pelo manejo do solo, em que, qualquer estresse no sistema afetará a densidade, diversidade e a atividade das populações microbiana do solo (PANKHURST et al., 1995). Eles atuam desde a intemperização das rochas, formação e manutenção da sua estrutura, até a decomposição de resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes e biorremediação de poluentes e metais pesados (REIS JUNIOR & MENDES, 2006).

A biomassa microbiana é responsável pelo controle de funções essenciais no solo, como decomposição e acúmulo de matéria orgânica, ou transformações envolvendo nutrientes minerais ou compostos no solo. A biomassa microbiana do solo (BMS) é constituída por organismos vivos com volume menor que 5 a 10  $\mu\text{m}^3$  (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006), e contém em média, de 2 a 5% do carbono orgânico do solo (JENKINSON & LADD, 1981). Por constituir a maior parte da fração ativa da matéria orgânica, a BMS pode ser enquadrada como o compartimento central do ciclo do carbono (GAMA-RODRIGUES, 1999), e como componente que controlam funções chaves no solo, como a decomposição e o acúmulo de matéria

orgânica, ou transformações envolvendo os nutrientes minerais (ARAÚJO & MOTEIRO, 2007).

A BMS é influenciada pelas variações sazonais de umidade e temperatura, pelo manejo do solo, pelo cultivo e, também, pelos resíduos vegetais. Por estes motivos, a biomassa microbiana pode ser utilizada para se obter informações rápidas sobre mudanças nas propriedades orgânicas do solo, detectar mudanças causadas por cultivos ou por devastação de florestas, medir regeneração dos solos após a remoção da camada superficial, e avaliar os efeitos dos poluentes como metais pesados e pesticidas (FRIGHETTO, 2000) e como índice de aferição da sustentabilidade de sistemas de produção (MELE & CARTER, 1993).

Para mensurações gerais da BMS, existem diversos métodos (DE-POLLI & GUERRA, 2008). Contudo, para avaliar a sua função na dinâmica da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes é essencial uma medida direta da quantidade de C e nutrientes imobilizados pelos microrganismos (GAMA-RODRIGUES & GAMA-RODRIGUES, 2008). Isoladamente, a biomassa microbiana pouco reflete as alterações na qualidade do solo, apesar de ser um indicador precoce de intervenções antrópicas (BROOKES, 1995). Assim, deve ser avaliada juntamente com outros parâmetros em face da extrema heterogeneidade do ambiente natural da microbiota e da sua diversidade no solo (ANDERSON E DOMSCH, 1989).

O estudo da biomassa microbiana do solo tem implicações importantes na agricultura, pois quanto maior a biomassa microbiana no solo, maior será a imobilização temporária de carbono e outros nutrientes no sistema solo. (ALVAREZ et al., 1995).

A quantificação do carbono da biomassa microbiana do solo é importante para avaliação do tamanho do reservatório mais ativo e dinâmico da matéria orgânica do solo, o qual é constituído basicamente por fungos, bactérias e actinomicetos (OLIVEIRA et al., 2001).

Mudanças significativas na quantidade de biomassa podem ser detectadas muito antes que alterações na matéria orgânica total possam ser percebidas, possibilitando a adoção de medidas de correção antes que a perda da qualidade do solo seja mais severa. Assim, o monitoramento das alterações nos níveis de

biomassa microbiana do solo é uma medida adequada para determinar se um conjunto de práticas é sustentável (TÓTOLA & CHAER, 2002). D'ANDREA et al. (2002), em trabalho avaliando as alterações em atributos biológicos de um solo sob diferentes sistemas de manejo, observou que a instalação de pastagens e sistemas de manejo agrícola em área de cerrado nativo reduziu os teores de carbono da biomassa microbiana na camada superficial do solo. Essa redução está relacionada às modificações causadas na estrutura do solo, bem como na quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo, que sofre nítidas modificações com a substituição de uma vegetação nativa por uma cultura (GARCIA et al., 2005; VERGINASSI et al., 2007).

#### **2.2.2.2 Atividade microbiana**

A atividade microbiana é um parâmetro usado para monitorar a decomposição da matéria orgânica, sendo considerado um importante indicador da atividade dos microrganismos do solo (ANDERSON & DOMSCH, 1990). A atividade microbiana ou respiração basal como também é conhecida, é um dos mais antigos atributos utilizado na quantificação da atividade metabólica dos solos, depende do estado fisiológico da célula, assim como outras atividades metabólicas, e é influenciada por fatores no solo como temperatura, umidade, estrutura do solo e disponibilidade de nutrientes (CARVALHO, 2005). A atividade microbiana representa o carbono prontamente mineralizável e reflete a tanto a atividade de microrganismos aeróbios quanto anaeróbios (ALEF, 1995).

Para Alvarenga et al. (1999), a atividade biológica ocorre com maior intensidade na camada superficial do solo, e que a exposição aos processos erosivos, e a remoção de material do solo devido ao uso e/ou manejo inadequados, provoca redução de sua qualidade. Segundo Tsai et al. (1992), a atividade microbiana é intensificada pela incorporação de adubos verdes, restos vegetais, etc., promovendo um aumento na concentração de CO<sub>2</sub>.

O não fracionamento e incorporação dos resíduos fazem com que os processos biológicos sejam mais intensos na camada superficial, de tal forma que há constantemente e em grande quantidade carbono facilmente decomponível e, conseqüentemente, haja liberação de compostos intermediários, os quais afetam a dinâmica do sistema, inclusive a detoxicação de alumínio e a disponibilidade de nutrientes. Com uma atividade mais equilibrada, os processos de ressíntese de substâncias húmicas, também são favorecidos e os seus teores aumentam especialmente os ácidos fúlvicos e húmicos (RHEINHEIMER & KAMINSKI, 2007).

Estudos demonstraram que solos sob monoculturas prolongadas têm necessidade energética mais elevada para sua manutenção do que solos sob rotação de culturas ou não submetidos a estresses. Solos sob interferência antrópica apresentam mudanças na composição e atividade dos microorganismos e apresentam maiores atividades metabólicas específicas, devido ao estresse da população (MOREIRA & SIQUEIRA, 2002).

### **2.2.2.3 Índices microbiológicos**

Os índices microbiológicos baseados em mais de um parâmetro podem ser capazes de discriminar o efeito de diferentes sistemas de manejo sobre a qualidade do solo e, dessa forma, o quociente microbiano e o quociente metabólico são bons indicadores para tais comparações (PAPENDIK et al. (1992).

Estudos têm demonstra que os quocientes metabólico ( $qCO_2$ ) e microbiano ( $qMic$ ) são sensíveis aos efeitos ambientais e antropogênicos sobre a comunidade microbiana do solo, podendo constituir-se indicadores das perturbações dos ecossistemas (ANDREA et al., 2002; HARRIS, 2003).

## Quociente metabólico

O quociente metabólico ( $qCO_2$ ) representa a razão entre o  $CO_2$  evoluído e o pool de carbono da biomassa microbiana (CBMS), o qual indica o estado metabólico dos microrganismos e pode ser utilizado como indicador de estresse, perturbação ou estabilidade do ecossistema (DE-POLLI & GUERRA, 1997; ANDERSON & DOMSCH, 1990). O  $qCO_2$  reflete também as variações na proporção do carbono da biomassa microbiana do solo metabolicamente ativa e em crescimento e quanto maior a proporção da biomassa microbiana ativa, maior será o quociente metabólico (FISK & FAHEY, 2001).

À medida que a biomassa microbiana se torna mais eficiente na utilização dos recursos do ecossistema, menos carbono é perdido pela respiração ( $CO_2$ ) e maior proporção de carbono é incorporada aos tecidos microbianos (ODUM, 1969). Assim, uma biomassa microbiana eficiente tem menor  $qCO_2$ , o que indica um solo mais equilibrado e que incorpora menos carbono à atmosfera (PRIMIERY, 2008). De acordo com ANDERSON & DOMCH (1990), quocientes metabólicos elevados são um indicativo de comunidades microbianas em estágios iniciais de desenvolvimento, com maior proporção de microrganismos ativos em relação aos inativos, ou seja, um indicativo de populações microbianas sob algum tipo de estresse metabólico.

Baseado na teoria do ecossistema em sucessão de ODUM (1969), que diz que o  $qCO_2$  declina durante a sucessão e com o tempo tende a recuperar seu equilíbrio, WHARDLE & GUANI (1995) analisaram vários trabalhos sobre o uso do  $qCO_2$  como bioindicador de ecossistemas perturbados e sugerem que o uso dos índices de  $qCO_2$  podem ser limitados, devido à dependência de vários fatores ambientais como, por exemplo, a disponibilidade de nutrientes, pH e argila e que nem sempre refletem as alterações no ambiente. No entanto, existe inúmeros casos em que o  $qCO_2$  pode ser utilizado como bioindicador de estresses ambientais.

## **Quociente microbiano**

O quociente microbiano (qMic) representa a relação entre o carbono orgânico da biomassa microbiana e o carbono orgânico do solo e expressa a quantidade de carbono imobilizado na biomassa (SILVA et al., 2001). O quociente microbiano reflete o aporte de carbono e a conversão de substratos orgânicos para carbono da biomassa microbiana. É calculado pela relação entre o carbono da biomassa microbiana (CBMS) e o carbono orgânico do solo (CO) (SPARLING, 1992). O qMic é um índice indicativo das alterações em ecossistemas com interferência antrópica (INSAM & DOMSCH, 1988), fornecendo indicações sobre a dinâmica da matéria orgânica, expressando a eficiência da biomassa microbiana em utilizar o carbono orgânico do solo (PRIMIERY, 2008).

Este índice pode variar de acordo com o pH, sistemas de preparo do solo, quantidade e qualidade do aporte de carbono. De acordo com Wardle (1994) em circunstâncias de estresse (deficiência de nutrientes, acidez, como exemplos), a capacidade de utilização de carbono é diminuída. Nesse caso, a relação CBMS:COT diminui ( $< qMic$ ). Caso contrário, quando a matéria orgânica é de boa qualidade, a biomassa microbiana pode aumentar ( $> qMic$ ), mesmo sem alterações de CO.

Klumpp et al (2003) recomendam a utilização do quociente microbiano como indicador de impacto em solos. Segundo os mesmos autores, esse índice mostrou-se mais adequado que a biomassa microbiana, apresentando correlação negativa e significativa em áreas impactadas.

## **2.3 Os sistemas de manejo do solo**

### **2.3.1 Sistema de manejo convencional**

O sistema de cultivo convencional apresenta função importante na produção de alimentos, mas é dependente do aporte de insumos químicos, como fertilizantes minerais e pesticidas. O mau uso dessas práticas agrícolas traz preocupações em

relação ao ambiente e à saúde pública, levando ao aumento do interesse por práticas agrícolas alternativas (GLOVER et al., 2000).

Conforme Gliessman (2000), a prática da agricultura convencional está construída em torno de dois objetivos: a maximização da produção e do lucro. Em busca dessas metas, um rol de práticas foi desenvolvido sem cuidar das consequências não intencionais, e sem considerar a dinâmica ecológica dos agroecossistemas, onde o cultivo intensivo do solo, monocultura, irrigação, aplicação de fertilizantes inorgânicos, controle de pragas e manipulação genética de plantas formam a agricultura moderna (REGINA et al., 2004).

O uso do solo na agricultura, após a retirada da vegetação natural, tem freqüentemente mostrado alterações nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, que são afetados pelo clima, tipo de cultura e práticas culturais adotadas. Nas últimas décadas tem-se notado uma tendência mundial de intensificação da produção agrícola. Para isso, são adotadas técnicas de cultivo como a seleção de culturas com produtividades elevadas, uso de altas doses de adubos minerais e uso indiscriminado de agrotóxicos.

As utilizações de insumos agrícolas, fertilizantes minerais produzidos pelas indústrias e biocidas contaminam o agroecossistema, aumentam os custos de produção e quando não bem manejados intoxicam o agricultor (ROEL et al., 2007).

As práticas de manejo de agroecossistemas em sistema convencional, tais como a aplicação de agrotóxicos, e a mecanização excessiva do solo com máquinas, tem efeito direto e indireto no empobrecimento da microbiota do solo responsável pela ciclagem de nutrientes (MATSON et al., 1997; ALTIERI & NICHOLLS, 1999).

Os sistemas de cultivo convencional proporcionam em uma melhor distribuição da população microbiana em função da aração que é feita nos primeiros 20 cm de profundidade e a incorporação mais uniforme (CATTELAN & VIDOR, 1990). Para Roscoe et al. (2006), os sistemas de cultivo convencional, além da degradação, causam a perda da qualidade do solo.

### **2.3.2 Sistema de manejo em transição de convencional para orgânico**

Para Vitoi (2000), transição é o termo usualmente utilizado para denominar o processo de mudança do sistema convencional para o sistema de produção orgânico, e envolve vários aspectos, sejam eles culturais, técnicos, educacionais, normativos, ou mesmo de mercado, de forma que se considera que a conversão para agricultura orgânica é o processo de mudar, a cada dia, a forma de pensar e trabalhar na agricultura. O processo de mudança de sistemas de produção convencional para orgânico é considerado como período de “quarentena” exigido pela legislação, correspondendo o período entre o final da utilização de insumos não permitidos pelas normas das certificadoras até o produto poder ser vendido como orgânico. Esse período, segundo a IN 007 de 17 de maio de 1999, é de doze meses para produção vegetal anual e de pastagem perene, e de dezoito meses para produção vegetal perene (BRASIL, 1999).

O tempo necessário para transição, bem como as dificuldades a serem observadas neste processo, dependerá ainda do grau de adoção anterior, por parte do agricultor, de práticas convencionais, do período em que isto ocorreu e da intensidade com que estas afetaram as bases de produção até o início do processo de transição (FEIDEN, 2001).

As questões técnicas, segundo Khatounian (1999), envolvem aspectos biológicos que constituem a parte mais agrônômica da transição e incluem o reequilíbrio das populações de pragas e doenças e das condições do solo, enquanto as questões educativas dizem respeito ao aprendizado, por parte dos agricultores, dos conceitos e técnicas de manejo que viabilizam a agricultura orgânica. Segundo o mesmo autor o período de transição não deve ser entendido apenas como uma "quarentena" para eliminação de resíduos de agrotóxicos, mas como um período necessário para a reorganização, sedimentação e maturação dos novos conhecimentos, aliado a uma ativa ressituação dos agricultores e do ambiente.

### 2.3.3 Sistema de manejo orgânico

De acordo com o Art. 1º da LEI nº 10.83, o sistema orgânico de produção agropecuária é todo aquele em que se adotam técnicas específicas, mediante a otimização do uso dos recursos naturais e socioeconômicos disponíveis e o respeito à integridade cultural das comunidades rurais, objetivando a sustentabilidade econômica e ecológica, a maximização dos benefícios sociais, a minimização da dependência de energia não-renovável, empregando, em contraposição ao uso de materiais sintéticos, métodos culturais, biológicos e mecânicos, sempre que possível, a eliminação do uso de organismos geneticamente modificados e radiações ionizantes, em qualquer fase do processo de produção, processamento, armazenamento, distribuição e comercialização, e a proteção do meio ambiente (BRASIL, 2003).

O cultivo orgânico é um sistema de produção sustentável que visa melhorar a fertilidade e a diversidade biológica do solo, pois está voltado à proteção e ao manejo dos recursos naturais, pelo não uso de produtos químicos produzidos pelas indústrias, por serem prejudiciais ao homem e ao ambiente (BETTIOL et al., 2002).

A adição de materiais orgânicos é fundamental à qualidade do solo, caracterizando-se pela liberação gradativa de nutrientes, que reduz processos como lixiviação, fixação e volatilização, embora dependam essencialmente da taxa de decomposição, controlada pela temperatura, umidade, textura e mineralogia do solo, além da composição química do material orgânico utilizado (ZECH et al., 1997). Trindade & Accioly (2006) afirmaram que a adubação orgânica, nos diferentes solos e culturas, no Nordeste, tem sido intensificada.

Segundo Garcia et al. (2005), a incorporação dos resíduos orgânicos favorece a aeração que, concomitantemente acelera a atividade microbiana e a decomposição. Camargo (2004) afirmam que a aplicação de substâncias húmicas ao solo afeta favoravelmente a estrutura e a população microbiana do solo, além de aumentar a solubilidade dos nutrientes do solo.

De acordo com Souza & Resende (2003), em sistemas orgânicos de produção, o equilíbrio ecológico que ocorre entre os macro e microorganismos é

para manter as populações de pragas e doenças em níveis que não causem danos econômicos as culturas comerciais. Tanto que possível, os sistemas de agricultura orgânica baseiam-se na rotação de culturas, no uso de esterco animal, leguminosas, adubação verde, uso de fertilizantes minerais naturais de baixa solubilidade e aspectos de controle biológico de pragas para manter a estrutura e produtividade do solo, fornecer nutrientes para as plantas e controlar insetos, ervas daninhas e outras pragas (EHLERS, 2005).

Na agricultura orgânica a redução do ataque de organismos prejudiciais ao desenvolvimento da planta é realizada através do uso de receitas caseiras, preparadas a base de extratos naturais, pouco ou nada agressivos ao meio ambiente (SOUZA, 1998). O cultivo no sistema orgânico, com a utilização de defensivos alternativos para o controle fitossanitário, produz alimento mais saudável, químicos, preservando o ambiente e melhorando a qualidade de vida do homem (MEIRELLES, 1997).

#### **2.3.4 Relação da matéria orgânica em sistemas de manejo do solo**

Estudos realizados mostraram que os parâmetros biológicos, físicos e químicos, quando utilizados de forma integrada, são indicadores sensíveis e seguros de avaliação da qualidade e saúde integral do solo (VALARINI et al., 2003)

Solos manejados com práticas convencionais constituem sistemas propícios a redução dos teores de matéria orgânica pela ruptura dos agregados e conseqüente incremento da oxidação biológica do carbono orgânico a CO<sub>2</sub>, ocasionando aumento da concentração deste gás na atmosfera (REICOSKY & LINDSTROM, 1993). O uso de práticas baseadas em menor revolvimento do solo e a manutenção dos resíduos, destaca-se como estratégia eficiente em recuperar os teores de carbono com conseqüente aumento do tamanho de agregados (CAMPOS et al, 1997) promovendo incremento da proteção física da matéria orgânica que desempenha várias funções no solo sendo responsável pela retenção de cátions,

fornecimento de nutrientes, incremento da atividade biológica e melhoria da estrutura e agregação do solo.

A adoção de sistemas conservacionistas de manejo do solo, com redução da mobilização e manutenção parcial ou total da cobertura do solo, tem evoluído significativamente em área cultivada no Brasil. Entre as principais vantagens destes sistemas destacam-se o controle da erosão e o incremento de matéria orgânica. A quantificação do potencial que a agricultura tem para fixar carbono no solo ainda é um desafio, no entanto acredita-se que uma das grandes oportunidades esteja na recuperação do teor de matéria orgânica dos solos agrícolas (AMADO, 1999).

Portanto, a matéria orgânica pode ser alterada com maior ou menor intensidade, dependendo do sistema agrícola instalado.

O sistema de preparo convencional, em geral, promove um intenso revolvimento do solo na camada superficial, o que pode favorecer a decomposição da matéria orgânica, ocasionando considerável efeito prejudicial na qualidade estrutural do solo. A presença de camadas compactadas em sub superfície, nesses sistemas de manejo, reflete uma degradação estrutural, com aumento da densidade e reduções do tamanho médio dos agregados, volume e tamanho dos macroporos, taxa final de infiltração de água e desenvolvimento radicular das plantas (DALLA ROSA, 1981; SILVA & MIELNICZUK, 1997)

A adoção de sistemas de manejo sem revolvimento do solo e a manutenção de resíduos vegetais na superfície, favorecem o contínuo aporte de carbono orgânico, o que é fundamental para a manutenção de uma estrutura de boa qualidade (CARPENEDO & MIELNICZUK, 1990).

Em solos sob vegetação natural, o balanço entre as adições e perdas de carbono leva a um estado de equilíbrio dinâmico, no qual praticamente não existe variação no teor de carbono orgânico com o tempo (BAYER et al., 2000)

No entanto, na conversão da vegetação natural em áreas agrícolas e florestais, verifica-se, em geral, nas regiões tropicais, uma rápida perda de carbono orgânico do solo, em decorrência da combinação entre calor e umidade, que facilita a decomposição, e também, o constante revolvimento do solo contribui para acelerar a oxidação do carbono orgânico (CASTRO FILHO et al., 1991).

Estudos a respeito do carbono orgânico do solo sob diferentes sistemas fornecem subsídios importantes para a avaliação da qualidade do solo. Existe interesse cada vez maior na identificação dos sistemas de manejo de culturas e pastagens que promovam a melhoria do estoque de carbono no solo (FREITAS et al., 2000). Nos últimos anos, tem sido ressaltada a contribuição do plantio direto na diminuição da emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera (BURLE et al., 1997; BAYER et al., 2000; SILVA et al., 2001; D'ANDRÉA et al., 2002;)

Fortin et al. (1996) determinaram uma redução da emissão de carbono na ordem de 2,50 Mg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> no plantio direto, comparativamente ao preparo convencional. Em estudos desenvolvidos por Freixo et al. (2002), em diversos sistemas de cultivos, em Latossolo na região do cerrado, concluiu-se que o decréscimo de estoque de carbono orgânico foi menor no plantio direto (20 a 30 % de 0 – 5 cm) e maior nos sistemas convencionais (47 % de 0 – 5 cm).

Embora a aplicação do sistema de avaliação de Impacto Ambiental de atividades do novo rural brasileiro desenvolvido por Rodrigues & Campanhola (2003) tenha indicado que o manejo orgânico apresentou melhor desempenho ambiental que o convencional, especificamente no caso da capacidade produtiva do solo, avaliado tão somente por indicadores químicos, não se observaram diferenças nos valores médios entre os solos orgânico e convencional (VALARINI et al., 2003).

Sistemas conservacionistas de manejo promovem o aumento do conteúdo de matéria orgânica (SÁ et al., 2001), contribuindo para que o solo desempenhe suas funções básicas (promover o desenvolvimento da vida, garantindo a qualidade ambiental, a saúde animal e humana. A compreensão da dinâmica da matéria orgânica (MO) em sistemas agroecológicos de produção permite subsidiar o estabelecimento de estratégias de manejo que garantam o incremento do conteúdo de MO e a qualidade ambiental e do solo ao longo do tempo, observando-se os princípios básicos da agricultura conservacionista, os princípios agroecológicos e a mínima dependência de insumos.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Localização e caracterização da área em estudo

O trabalho foi realizado, utilizando-se amostras de solo coletadas no Distrito de Irrigação dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí (DITALPI), localizado no município de Parnaíba, norte do Estado do Piauí, com 03°05' latitude S e 41°47' de longitude W, a uma altitude de 46 m. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Aw', tropical chuvoso Aw, com umidade relativa do ar média anual de 74,9%, temperatura média do ar de 27,9°C, evapotranspiração de referência média de 5,4 mm e precipitação média anual de 965 mm, porém, concentradas de janeiro a maio (BASTOS et al., 2000). O solo da região é classificado como NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico (EMBRAPA, 2006).

#### 3.2 Descrições das áreas estudadas

Neste estudo foram selecionadas seis áreas: goiaba (*Psidium guajava* L.) no sistema convencional por 3 anos – GSC; coco (*Cocos nucifera* L.) no sistema convencional por 5 anos – CSC; goiaba em transição de sistema convencional para orgânico (5 anos no sistema convencional e 2 anos no sistema orgânico) – GTO, coco em transição do sistema convencional para orgânico (5 anos no sistema convencional e 2 anos no sistema orgânico) – CTO; acerola (*Malpighia emarginata*) em sistema orgânico por 3 anos – ASO e área com vegetação nativa adjacente aos cultivos com frutas, que foi considerada como referência – AVN. A área com vegetação nativa consiste de uma transição entre Cerrado e Caatinga. Uma caracterização completa do histórico das áreas estudadas é descrita na Tabela 1.

Tabela1. Descrição das áreas sob sistemas de manejo convencional, transição de convencional para orgânico e orgânico cultivadas com frutas, no norte do Estado do Piauí.

Área	Descrição
<b>GSC</b>	Área com 2 ha que começou a ser explorada no ano de 1999 com cultivo de melancia e feijão sem qualquer recomendação de práticas agrícolas. Somente no ano de 2002, a área foi cultivada com goiaba com recomendações de práticas agrícolas no sistema convencional espaçadas de 6 x 6 m. As práticas consistiram na correção do solo com 1 t ha <sup>-1</sup> de calcário, adubação de implantação com uréia, superfosfato simples, cloreto de potássio (KCL) e adição da mistura de micronutrientes FTE-BR-12 (30, 500, 30 e 50 g por planta, respectivamente), além de 20 L de esterco por planta. A adubação de cobertura consiste da aplicação semestral de uréia, superfosfato simples (20, 500 g por planta, respectivamente) e 12 L de esterco por planta.
<b>CSC</b>	Área com 2 ha, a qual também começou a ser explorada no ano de 1999 com cultivo de melancia e feijão sem qualquer recomendação de práticas agrícolas. Está localizada ao lado da área descrita anteriormente – GSC. Esta área foi implantada com coco no ano de 2004 com recomendações de práticas agrícolas para cultivo do coco no sistema convencional espaçadas de 7 x 7 m. As práticas agrícolas consistiram na correção do solo com 1 t ha <sup>-1</sup> de calcário e adubação de implantação com uréia, superfosfato simples, cloreto de potássio e FTE-BR-12 (40, 800, 30 e 45 g por planta, respectivamente), além de 20 L de esterco por planta. A adubação de cobertura consiste da aplicação semestral de uréia, superfosfato simples (30, 500 g por planta, respectivamente) e 12 L de esterco por planta.
<b>GTO</b>	Área com 2 ha localizada a 300 m da área CSC e GSC. A área foi implantada no ano de 2000 com goiaba no sistema convencional espaçadas 6 x 6 m e desde 2005 esta em processo de transição para orgânico. Até o ano de 2005, as práticas realizadas nesta área eram as recomendadas para adubação da goiaba no sistema convencional, os quais consistiram: correção do solo com 1,5 t ha <sup>-1</sup> de calcário e adubação de implantação com uréia, superfosfato simples, cloreto de potássio e FTE-BR-12 (40, 500, 30 e 45 g por planta, respectivamente), além de 20 L de esterco por planta. A adubação de cobertura consistiu da aplicação semestral de uréia, superfosfato simples (30, 500 g por planta, respectivamente) e 12 litros planta <sup>-1</sup> de esterco. A partir de 2006, a área vem sendo manejada no sistema orgânico com apenas a adição de 8 kg de composto orgânico por planta.
<b>CTO</b>	Área com 2 ha implantada no ano 2000 com coco no sistema convencional espaçadas 7 x 7 m e desde 2005 esta em sistema de transição para orgânico. Está localizada ao lado das áreas GTO e com uma distância 300 e 200 m da área GSC, CSC, respectivamente. Até o ano de 2005, as práticas realizadas nesta área são as recomendadas para adubação do coco no sistema convencional, os quais consistiram: correção do solo com 1,5 t ha <sup>-1</sup> de calcário e adubação de implantação com uréia, superfosfato simples, cloreto de potássio e FTE-BR-12 (40, 800, 30 e 45 g por planta, respectivamente), além de 20 L de esterco por planta. A adubação de cobertura consiste da aplicação semestral de uréia, superfosfato simples (30, 500 g por planta, respectivamente) e 12 L de esterco por planta. A partir de 2006, a área vem sendo manejada no sistema orgânico com apenas a adição de 8 kg composto orgânico por planta.
<b>ASO</b>	Área cultivada com 2 ha com acerola no sistema orgânico desde 2004 espaçadas 4 x 5 m. Esta área começou a ser explorada em 1999, onde era cultivada anualmente com melancia e feijão sob sistema convencional. As práticas agrícolas do sistema orgânico iniciaram em 2003 com a utilização de práticas definidas nos programas de certificação orgânica e consistiram no plantio de leguminosas, correção do solo com 1 t ha <sup>-1</sup> de calcário e aplicação de 0,5 t ha <sup>-1</sup> de fosfato natural e 1,2 t ha <sup>-1</sup> de Farinha de Rocha (MB-4). Na implantação da cultura da acerola, em 2004, foram utilizados 500 kg ha <sup>-1</sup> de fosfato natural, 8 kg de composto orgânico por planta, 600 kg ha <sup>-1</sup> de MB4 e 100 L de palha de carnaúba por planta. A adubação de cobertura consiste na adição semestral de 600 kg ha <sup>-1</sup> de composto orgânico e 8 kg de MB4 por planta.
<b>AVN</b>	Área com vegetação nativa (sem ação antrópica). A área de vegetação nativa consiste de uma transição entre Cerrado e Caatinga.

Goiaba no sistema convencional – GSC; coco no sistema convencional – CSC; goiaba em sistema de transição para orgânico – GTO; coco em sistema de transição para orgânico – CTO; acerola em sistema orgânico – ASO e área de vegetação nativa – AVN.

### **3.3 Amostragem e análises nas amostras de solo**

#### **3.3.1 Amostragem**

As diferentes áreas foram divididas em quatro sub-áreas com 300 m<sup>2</sup>, onde foram abertos, aleatoriamente, quatro mini trincheiras de 0,30 x 0,30 m eqüidistantes de 10 m. As profundidades de amostragem foram de 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,15; 0,15-0,20 m. Nas áreas sob cultivo, as trincheiras foram abertas sob a copa das plantas. As amostras coletadas foram acondicionadas em sacos plásticos com suspiros, protegidas da luz, mantidas em caixas térmicas, que foram, transportadas ao laboratório e mantidas em geladeira por 7 dias a temperatura de 4 °C . As amostras foram peneiradas (2 mm) e a umidade ajustada para 60 % da capacidade de campo para a realização da análise dos indicadores microbiológicos. Antes desse procedimento, foram retiradas subamostras, onde as mesmas foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras com abertura de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA) e para análise granulométrica, dos indicadores químicos e fracionamento da matéria orgânica.

#### **3.3.2 Analise granulométrica**

A análise granulométrica foi efetuada pelo método da pipeta (Day, 1965), após dispersão da amostra com NaOH 1 mol L<sup>-1</sup> e agitação rápida (6.000 rpm) por 15 minutos. Em todos os sistemas de manejo estudados, a composição granulométrica remeteu o solo à classe textural arenosa ao longo das profundidades de amostragem (Tabela 2).

Tabela 2. Composição granulométrica de amostras de solo das áreas cultivadas com frutas, área de vegetação nativa e em todas em todas as profundidades analisadas.

Áreas/sistemas	Prof. (m)	Areia total	Silte	Argila	Classe textural
		g kg <sup>-1</sup> de solo			
GSC	0,0-0,05	895,00	47,00	58,00	Areia
	0,05-0,10	924,00	20,00	56,00	Areia
	0,10-0,15	942,50	11,50	46,00	Areia
	0,15-0,20	939,50	10,45	46,00	Areia
GTO	0,0-0,05	894,50	29,50	76,00	Areia
	0,05-0,10	915,00	19,00	66,00	Areia
	0,10-0,15	904,00	30,00	66,00	Areia
	0,15-0,20	915,50	18,50	18,50	Areia
CSC	0,0-0,05	896,00	28,00	76,00	Areia
	0,05-0,10	924,00	20,00	56,00	Areia
	0,10-0,15	923,50	23,50	46,00	Areia
	0,15-0,20	922,00	22,00	56,00	Areia
CTO	0,0-0,05	886,50	47,50	66,00	Areia
	0,05-0,10	903,50	30,50	66,00	Areia
	0,10-0,15	915,80	38,20	46,00	Areia
	0,15-0,20	903,50	40,50	40,50	Areia
ASO	0,0-0,05	887,00	57,00	56,00	Areia
	0,05-0,10	902,00	32,00	66,00	Areia
	0,10-0,15	938,50	15,50	46,00	Areia
	0,15-0,20	905,00	39,00	56,00	Areia
ANV	0,0-0,05	896,00	48,00	56,00	Areia
	0,05-0,10	904,50	17,50	76,00	Areia
	0,10-0,15	908,50	25,50	56,00	Areia
	0,15-0,20	913,00	30,00	57,00	Areia

Goiaba no sistema convencional – GSC; coco no sistema convencional – CSC; goiaba em sistema de transição para orgânico – GTO; coco em sistema de transição para orgânico – CTO; acerola em sistema orgânico – ASO e área de vegetação nativa – AVN.

### 3.3.3 Análise química de fertilidade

#### Carbono orgânico

O carbono orgânico (CO) foi determinado por oxidação do carbono orgânico por via úmida, empregando a solução de dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ) em meio ácido, com fonte externa de calor (WALKLEY & BLACK, 1934), conforme metodologia descrita em Embrapa (2005). Para quantificação do carbono foram transferidos 1,2 g de TFSA para Erlenmeyer de 125 mL, adicionado-se 5 mL de solução de dicromato de potássio  $0,167 \text{ mol L}^{-1}$  e 20 mL de ácido sulfúrico concentrado. A quantificação do CO foi obtida a partir da titulação do dicromato remanescente com solução de sulfato ferroso amoniacal –  $Fe(NH_4)_2 (SO_4)_2 \cdot 6H_2O$   $0,25 \text{ mol L}^{-1}$ . O CO foi calculado pela equação 1.

$$CO = \frac{(V_{pb} - V_{am}) \times NSFA \times 12 \times 1000}{P_{solo} \times 4000} \quad (1)$$

CO = carbono orgânico, em  $\text{g kg}^{-1}$  de solo;

$V_{pb}$  = volume da solução de sulfato ferroso amoniacal, em mL, gasto na titulação da prova em branco;

$V_{am}$  = volume da solução de sulfato ferroso amoniacal, em mL, gasto na titulação da amostra;

NSFA = normalidade da solução de sulfato ferroso amoniacal corrigido, em  $\text{mol L}^{-1}$ ;

12 = massa atômica do carbono;

1000 = fator de transformação de g para kg;

$P_{solo}$  = peso do da amostra de TFSA, em g;

4000 = fator correspondente ao peso miliequivalente do carbono, em g.

## Nitrogênio total

O nitrogênio total ( $N_{\text{total}}$ ) foi quantificado pela digestão do solo com ácido sulfúrico e mistura digestora, seguida de destilação a vapor com hidróxido de sódio e titulação do coletado em solução de ácido bórico com indicador com solução padronizada de ácido clorídrico (método de Kjeldahl), conforme metodologia descrita em Embrapa (2005). Para quantificação do nitrogênio total foi transferido para tubo de digestão (tipo Folin-Wu) 1,0 g de solo moído e passado em peneira de 60 mesh, 1 g da mistura digestora de  $\text{CuSO}_4$  e adicionado 3 mL de ácido sulfúrico. A digestão de cada amostra foi realizada durante 5 h até chegar a uma temperatura de  $360^\circ\text{C}$ , sendo permanecido nessa temperatura por 2 h. Após resfriamento, o conteúdo de cada tubo foi destilado e o  $N_{\text{total}}$  foi quantificado pela titulação do destilado com solução padronizada de  $\text{HCl}$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ . O  $N_{\text{total}}$  foi calculado conforme a equação 2.

$$NT = \frac{(V_{\text{am}} - V_{\text{pb}}) \times F_{\text{ácido}} \times N \times V_{\text{total}} \times 1000}{V_{\text{destilado}} \times P_{\text{solo}}} \quad (2)$$

NT = Nitrogênio total,  $\text{g kg}^{-1}$  de solo;

$V_{\text{am}}$  = volume de ácido clorídrico, em mL, gasto na titulação da amostra;

$V_{\text{pb}}$  = volume de ácido clorídrico, em mL, gasto na titulação da prova em branco;

$F_{\text{ácido}}$  = fator do ácido clorídrico, normalidade real do ácido clorídrico;

$V_{\text{total}}$  = volume, mL, do extrato de digestão;

$V_{\text{destilado}}$  = volume, em mL, da alíquota do extrato destilado;

$P_{\text{solo}}$  = massa do solo, em g;

1000 = fator de correção para converter g para kg;

N = peso atômico do nitrogênio = 14

## pH e acidez potencial

O pH do solo foi determinado de acordo com o método proposto por Mclean (1982). Para isso, foram transferidos 10 cm<sup>3</sup> de solo para um copo de 100 mL e adicionaram-se 25 mL de água numa relação 1:2,5 (solo:água). A quantificação do pH do solo foi feita em leitura direta no potenciômetro.

A acidez potencial (H +Al) foi extraída com acetato de cálcio [Ca(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>. H<sub>2</sub>O] e analisado por titrimetria com hidróxido de sódio (NaOH), de acordo com Embrapa (2005). Para a extração do H +Al, foram transferidos 5 cm<sup>3</sup> de TFSA para um Erlenmeyer de 250 mL e adicionaram-se 100 mL da solução extratora Ca(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>. H<sub>2</sub>O a 1,0 mol L<sup>-1</sup> com pH ajustado para 7,0. Após 15 minutos de agitação e repouso por uma noite, uma alíquota de 50 mL do extrato foi coletada e titulada com a solução NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup> na presença de solução alcoólica de fenolftaleína.

O H + Al de cada amostra foi calculado pela equação 3:

$$H + Al (\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}) = \frac{(V_{am} - V_{br}) \times C_{NaOH} \times V_{extrator} \times 1000}{V_{aliquota} \times V_{solo}} \quad (3)$$

Sendo:

H + Al = Acidez potencial, em cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>;

V<sub>am</sub> = volume de NaOH, em mL, gasto na titulação da amostra;

V<sub>br</sub> = volume de NaOH, em mL, gasto na titulação da prova em branco;

C<sub>NaOH</sub> = concentração de NaOH = 0,025 mol L<sup>-1</sup>;

V<sub>extrator</sub> = volume do extrator, em mL = 100;

1000 = transformação de cm<sup>3</sup> para dm<sup>3</sup>;

V<sub>aliquota</sub> = alíquota pipetada, em mL = 50;

V<sub>solo</sub> = volume de solo utilizado, em cm<sup>3</sup> = 5.

### Alumínio trocável

O alumínio trocável foi extraído com cloreto de potássio (KCl) e analisado por titrimetria com hidróxido de sódio (NaOH) (BARNHISEL & BERTSCH, 1982). Para a extração do  $\text{Al}^{3+}$  foram transferidos  $5 \text{ cm}^3$  de TFSA para um Erlenmeyer de 125 mL e adicionaram-se 50 mL da solução extratora de KCl  $1 \text{ mol L}^{-1}$ . Após extração, uma alíquota de 25 mL do extrato foi coletada e titulada com a solução NaOH  $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ .

O  $\text{Al}^{3+}$  trocável foi calculado pela equação 4:

$$\text{Al}^{3+} = \frac{(V_{\text{am}} - V_{\text{pb}}) \times C_{\text{NaOH}} \times V_{\text{extrator}} \times 1000}{V_{\text{aliquota}} \times V_{\text{solo}}} \quad (4)$$

Sendo:

$\text{Al}^{3+}$  = Alumínio trocável, em  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ;

$V_{\text{am}}$  = volume de NaOH, em mL, gasto na titulação da amostra;

$V_{\text{pb}}$  = volume de NaOH, em mL, gasto na titulação da prova em branco;

$C_{\text{NaOH}}$  = concentração de NaOH =  $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ ;

$V_{\text{extrator}}$  = volume do extrator = 50 mL;

1000 = transformação de  $\text{cm}^3$  para  $\text{dm}^3$ ;

$V_{\text{aliquota}}$  = alíquota pipetada = 25 mL;

$V_{\text{solo}}$  = volume de solo utilizado =  $5 \text{ cm}^3$ .

### Cálcio e magnésio

O cálcio e o magnésio foram extraídos com cloreto de potássio e analisados por titrimetria com o ácido etilenodiaminotetracético (EDTA) (LANYON & HEALD, 1982). Para a extração do cálcio e do magnésio, foram transferidos  $5 \text{ cm}^3$  de TFSA para um Erlenmeyer de 125 mL e adicionaram-se 50 mL da solução extratora (KCl  $1 \text{ mol L}^{-1}$ ). Após extração, duas alíquotas de 25 mL do extrato foram coletadas e

tituladas com a solução EDTA 0,006 mol L<sup>-1</sup>. A primeira alíquota foi utilizada para quantificação conjunta de cálcio + magnésio, e a segunda, para quantificação do cálcio.

Os teores de Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup>, e de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> foram calculados pelas equações 5 e 6:

$$\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} \text{ e } \text{Ca}^{+2} (\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}) = \frac{(V_{\text{am}} - V_{\text{pb}}) \times C_{\text{EDTA}} \times 0,2 \times V_{\text{extrator}} \times 1000}{V_{\text{aliquota}} \times V_{\text{solo}}} \quad (5)$$

O magnésio foi quantificado pela equação 6.

$$\text{Mg}^{+2} (\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}) = [\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}] - [\text{Ca}^{+2}] \quad (6)$$

Sendo:

V<sub>am</sub> = volume de NaOH, em mL, gasto na titulação da amostra;

V<sub>pb</sub> = volume de NaOH, em mL, gasto na titulação da prova em branco;

C<sub>EDTA</sub> = Concentração de EDTA = 0,006 mol L<sup>-1</sup>;

2 = fator de transformação C<sub>EDTA</sub> de mol L<sup>-1</sup> para cmol<sub>c</sub> dm<sup>3</sup>;

V<sub>extrator</sub> = volume do extrator, em mL = 50

1000 = fator de transformação de cm<sup>3</sup> para dm<sup>3</sup>

V<sub>aliquota</sub> = alíquota pipetada, em mL = 10

V<sub>solo</sub> = volume de solo utilizado, em cm<sup>3</sup> = 5

### **Fósforo, potássio, CTC a pH 7,0 e saturação por bases**

O fósforo (P) foi extraído por bicarbonato de sódio (NaHCO<sub>3</sub>) (OLSEN et al., 1954) e analisado por espectrofotometria, com base na formação do complexo fosfomolibídico em meio reduzido. Optou-se por realizar a extração do P com NaHCO<sub>3</sub> pelo fato do uso de adubação fosfatada com fosfato natural na área de cultivo orgânico com acerola (ASO) e nas áreas de transição cultivo convencional para cultivo orgânico (CTO e GTO), o que poderia superestimar a disponibilidade do P

pelo extrator Mehlich I (RAIJ, 1978). Para a extração do fósforo, foram transferidos 5 cm<sup>3</sup> de TFSA para um frasco de 80 mL e adicionaram-se 50 mL da solução de NaHCO<sub>3</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup> a pH 8,5.

O fósforo extraído foi quantificado por espectrofotometria a 660 nm, utilizando-se soluções de trabalho padronizadas com concentrações diferentes de fósforo, o que permitiu o desenvolvimento de uma curva padrão e o cálculo da concentração de P nas amostras.

O potássio trocável (K<sup>+</sup>) foi extraído com solução extratora Mehlich I (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 mol L<sup>-1</sup>) e analisado por fotometria de chama, conforme Embrapa (2005).

A saturação por bases (%V) foi estimada pelas concentrações dos cátions trocáveis (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e K<sup>+</sup>) e (H + Al).

### 3.3.4 Fracionamento da matéria orgânica

A matéria orgânica do solo foi fracionada com base na solubilidade em meio ácido e alcalino, obtendo-se as frações: ácidos fúlvicos (F<sub>AF</sub>), ácidos húmicos (F<sub>AH</sub>) e Humina (F<sub>HUM</sub>), conforme metodologia proposta por Benites et al. (2003). Para isso, foram colocados 2 g de TFSA em tubo de centrífuga de 50 mL com tampa e adicionados 20 mL de solução de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>. O tubo de centrífuga foi agitado em agitador horizontal por 1 hora a 2500 rpm. A suspensão foi deixada em repouso por 24 h e centrifugada por 15 minutos a 2500 rotações por minuto. O sobrenadante foi transferido para Erlenmeyer de 125 mL e reservado. Esse procedimento foi repetido até que o sobrenadante ficasse incolor.

Na seqüência, o sobrenadante reservado (extrato alcalino pH ≈ 13,0; resíduo solúvel, denominado de substâncias húmicas – SHs,) foi ajustado para pH ≈ 2,0 com adição de gotas de solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 20%, utilizando-se o mesmo volume de ácido para as demais amostras. O material foi deixado em repouso por 18 h até a decantação do precipitado formado a fim de facilitar a separação das frações ácidos

fúlvicos ( $F_{AF}$ ), que permaneceu em solução, da fração ácidos húmicos ( $F_{AH}$ ), que precipitou (Figura 1).

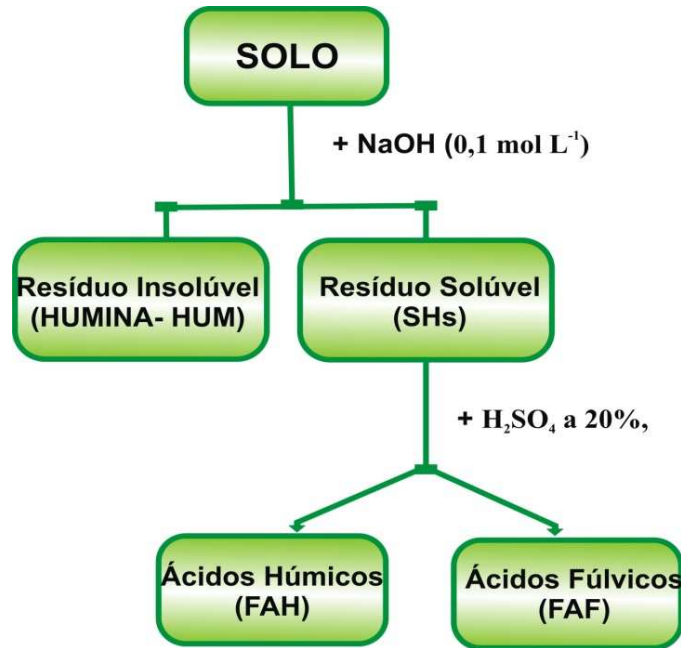


Figura 1. Método de extração e fracionamento das frações húmicas da matéria orgânica do solo.

A separação da fração  $F_{AF}$  foi feita por filtração em papel filtro analítico, onde o material filtrado teve o volume ajustado para 50 mL, utilizando-se água destilada. O material remanescente no papel filtro (fração  $F_{AH}$ ) foi retirado mediante adição da solução NaOH  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  sobre o precipitado até a lavagem completa do papel de filtro. A fração  $F_{AH}$  foi rediluída em solução de NaOH  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ , teve o volume completado para 50 mL e reservado para quantificação.

O material remanescente de cada tubo de centrifuga foi transferido quantitativamente para erlenmeyer de 125 mL (sem perdas do material), utilizando-se o mínimo de água destilada possível e reservado para quantificação da fração humina ( $F_{HUM}$ ).

### Determinação do carbono nas frações ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina.

A quantificação do carbono nas frações ácidos fúlvicos ( $C_{FAF}$ ) e ácidos húmicos ( $C_{FAH}$ ) foi realizada pelo princípio analítico de oxidação do carbono por via úmida, empregando a solução de dicromato de potássio em meio ácido, como fonte externa de calor (WALKLEY & BLACK, 1934), conforme metodologia descrita em Benites et al. (2003). Para isso foi transferido uma alíquota de 5,0 mL de cada uma das soluções ( $F_{AF}$  ou  $F_{AH}$ ) para erlenmeyers de 125 mL, adicionado 2,0 mL de  $K_2Cr_2O_7$  0,042 mol L<sup>-1</sup> e 5 mL de  $H_2SO_4$  concentrado a cada amostra e em quatro erlenmeyers. Para prova em branco adicionou-se 5 mL de  $H_2O$  destilada e 2,0 mL de  $K_2Cr_2O_7$  0,042 mol L<sup>-1</sup> e em seguida sem aquecimento as amostras foram tituladas com solução sulfato ferroso amoniacal 0,25 mol L<sup>-1</sup>.

A dosagem do carbono das frações  $F_{AF}$  e  $F_{AH}$  foram obtidas a partir da titulação do dicromato remanescente com a solução sulfato ferroso amoniacal 0,25 mol L<sup>-1</sup>. O carbono da fração humina ( $F_{HUM}$ ) também foi quantificado pelo princípio analítico de oxidação do carbono, porém foram adicionados aos erlenmeyer, 10 mL de dicromato de potássio  $K_2Cr_2O_7$  0,0167 mol L<sup>-1</sup> e 10 mL de  $H_2SO_4$  concentrado.

O carbono das frações ácidos fúlvicos ( $C_{FAF}$ ) e ácidos húmicos ( $C_{FAH}$ ) e humina ( $C_{HUM}$ ) foi calculado pelas as equações 7, 8 e 9, respectivamente.

$$C_{FAF \text{ ou } FAH} = \frac{(V_{baq} - V_{amostra}) \times C_{Fe^{2+}} \times 12 \times V_{extrato} \times 1000}{V_{aliquota} \times P_{solo} \times 4000} \quad (7)$$

$$C_{HUM} = \frac{(V_{baq} - V_{amostra}) \times C_{Fe^{2+}} \times 12 \times 1000}{P_{solo} \times 4000} \quad (8)$$

$$C_{Fe^{2+}} = \frac{(V_{dicromato}) \times 0,167 \times 6}{V_{prova \text{ em branco}}} \quad (9)$$

Sendo:

$C_{FAF}$  = Carbono da fração ácidos fúlvicos, em  $g\ kg^{-1}$ ;

$C_{FAH}$  = Carbono da fração ácidos húmicos, em  $g\ kg^{-1}$ ;

$C_{HUM}$  = Carbono da fração humina, em  $g\ kg^{-1}$ ;

$V_{baq}$  = Volume de sulfato ferroso amoniacal consumido, em mL, na titulação do branco aquecido;

$V_{amostra}$  = volume de de sulfato ferroso amoniacal consumido, em mL, na titulação na titulação da amostra, em mL;

$C_{Fe^{2+}}$  = concentração de  $Fe^{2+}$  na solução padronizada de sulfato ferroso amoniacal para a reação com o dicromato de potássio;

$V_{extrato}$  = Volume total do extrato, em mL;

$V_{aliquota}$  = Volume da alíquota usada na determinação do AH, AF e HUM, em mL;

$P_{solo}$  = peso do solo, em g;

4000= Peso\_miliequivalente do C, em g;

1000= fator de transformação de g para kg

$V_{dicromato}$  = volume de dicromato, em mL;

0,167 = concentração da solução de dicromato, em  $mol\ L^{-1}$ ;

6 = número de elétrons transferidos no processo de redução  $Cr(VI) \rightarrow Cr(III)$ ;

$V_{br}$  = volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação do branco, em mL.

### 3.3.5 Análise dos indicadores microbiológicos

#### Respiração basal

A respiração basal do solo foi determinada pela quantificação do dióxido de carbono ( $CO_2$ ) liberado no processo de respiração microbiana, conforme metodologia proposta por STOTZKY (1965). Para isso, 100 g de solo a base de solo seco de cada amostra foram incubadas em frascos respirométricos de vidro, herméticos com 0,575 L de capacidade, juntamente com um copo de polietileno de 50 mL contendo 20 mL de NaOH  $1\ mol\ L^{-1}$ , para captar o  $CO_2$  liberado do solo. O  $CO_2$  foi quantificado pela coleta de uma alíquota de 10 mL do NaOH  $1\ mol\ L^{-1}$  do

copo de polietileno, onde transferiu-se para um erlenmeyer de 125 ml contendo 5 mL de uma solução de BaCl<sub>2</sub> (25%) e 3 gotas de fenolftaleína (1%). A quantidade de CO<sub>2</sub> liberado foi determinada após titulação do excedente de NaOH com solução padronizada de HCl 0,5 mol L<sup>-1</sup>. As quantificações foram realizadas aos 4, 11, 18 e 25 dias após incubação, até a constatação do processo de bioestabilização. A cada determinação, as soluções de NaOH foram trocadas por soluções recém-preparadas e como prova em branco necessária a esta análise, foram instalados dois frascos contendo apenas a solução de NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup>.

O cálculo do C-CO<sub>2</sub> desprendido do solo foi realizado utilizando equação 10:

$$\text{mgC - CO}_2 \text{ g}^{-1} = \frac{(V_{\text{PB}} - V_{\text{A}}) \times M_{\text{ácido}} \times 22 \times \text{FC}}{\text{MSS}} \quad (10)$$

Sendo:

V<sub>PB</sub> = volume de HCl, em mL, gasto com a prova em branco;

V<sub>A</sub> = volume de HCl, em mL, gasto na titulação do NaOH que recebeu o CO<sub>2</sub> desprendido do solo;

M<sub>ácido</sub> = concentração do HCl = 1 mol L<sup>-1</sup>;

Eq.g.C-CO<sub>2</sub> = equivalente grama do C-CO<sub>2</sub> = 22g;

FC = fator de correção (molaridade do ácido/ molaridade da base) = 1,0.

MSS = massa de solo usada considerada a base seca.

### **Carbono da biomassa microbiana**

O carbono da biomassa microbiana foi determinada pelo método descrito por VANCE et al. (1987), utilizando-se, em substituição ao clorofórmio, o forno de microondas para eliminar os microrganismos a fim de provocar a lise celular e liberação dos componentes celulares, conforme sugerido por FERREIRA et al. (1999).

Duas amostras equivalentes a 20 g à base de solo seco foram retiradas de cada tratamento, uma para ser irradiada em forno microondas e outra a não ser irradiada. Para este trabalho foi calculado o tempo de exposição de cada amostra ao

forno microondas, considerando a potencia real do aparelho. A potência real do microondas foi obtida pelo conhecimento da variação de temperatura em um litro de água após exposição ao microondas por 120 segundos. A potência real do aparelho microondas foi calculada pela equação 11.

$$P = \frac{C_p \times K \times \Delta t \times m}{t} \quad (11)$$

Sendo:

P = Potência real do aparelho, em Watts (W);

$C_p$  = capacidade da água de receber calor ( $1 \text{ J mL}^{-1} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$ );

K = 4,184, fator de correção de  $\text{cal m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$  para W ( $\text{J s}^{-1}$ );

$\Delta t$  = Variação de temperatura de 1L de água em 2 minutos de exposição em  $^\circ\text{C}$ ;

m = massa da água, em g - 1000 g;

t = tempo de exposição da água ao microondas, em segundos (s), 120.

O tempo em que as amostras ficaram sob irradiação foi determinado a partir do conhecimento da potência real do forno microondas, utilizando a equação 12.

$$t = \frac{r \times m_t}{P} \quad (12)$$

Sendo:

t = tempo real de exposição das amostras ao microondas;

r =  $800 \text{ J g}^{-1}$  de solo, quantidade de energia necessária para a exposição;

$m_t$  = peso total das amostras a serem irradiadas, 8 g;

P = potência real do aparelho em Watts (W).

Para extração carbono microbiano ( $C_{mic}$ ) usou-se uma solução de  $\text{K}_2\text{SO}_4$   $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  sob agitação por 30 minutos. Após agitação, o sobrenadante foi filtrado e reservado para quantificação do carbono. O carbono liberado da biomassa foi determinado pela digestão de 10 mL do filtrado com 2 mL de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$   $0,042 \text{ mol L}^{-1}$  e 10 mL de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) concentrado, em erlenmeyer de 125 mL. O

excesso de  $K_2Cr_2O_7$  foi determinado por titulação com  $Fe (NH_4)_2 (SO_4)_2$   $0,03 \text{ mol L}^{-1}$ , utilizando-se a orto-fenantrolina mono-hidratada (ferroin) como indicador. Para saber a quantidade de dicromato consumida fez-se uma digestão em branco, utilizando todo o processo sem extrato.

O carbono presente na biomassa microbiana foi calculado conforme as equações 13, 14 e 15, respectivamente.

$$CO_{\text{extrato}}(\text{IR,NIR}) = \frac{(V_{\text{pb}} - V_{\text{am}}) \times \text{NSFA} \times 0,003 \times V_{\text{extrator}} \times 10^6}{V_{\text{aliquota}} \times P_{\text{solo}}} \quad (13)$$

$$\text{NSFA} = \frac{(V_{\text{dicromato}}) \times 0,042 \times 6}{V_{\text{pb}}} \quad (14)$$

$$C_{\text{mic}} = \frac{CO_{\text{extrato}}(\text{IR}) - CO_{\text{extrato}}(\text{NIR})}{Kc} \quad (15)$$

Sendo:

$COT_{\text{extrato}}(\text{IR, NIR})$  = carbono orgânico dos extratos de amostras irradiadas e não irradiadas, em  $\text{mg Kg}^{-1}$ , respectivamente;

$V_{\text{pb}}$  = volume do sulfato ferroso amoniacal, em mL, gasto na titulação da prova em branco (mL);

$V_{\text{am}}$  = volume do sulfato ferroso amoniacal, em mL, gasto na titulação da amostra (mL);

$\text{NSFA}$  = normalidade do sulfato ferroso amoniacal corrigida em  $(\text{mol L}^{-1})$ ;

$0,003 = [(0,001.12)/4]$ : onde 12 é a massa molar do carbono ( $\text{g.mol}^{-1}$ ), 0,001 é o fator para transformar em  $\text{g mmol}^{-1}$  e 4 é o número de elétrons na oxidação do carbono  $[\text{C}(\text{O}) \rightarrow \text{C}(\text{IV})]$ , na forma de  $\text{CO}_2$

$V_{\text{extrator}}$  = volume, em mL, do extrato de digestão;

$10^6$  = fator para converter g para mg;

$V_{\text{aliquota}}$  = volume, em mL, usado na quantificação do carbono;

$P_{\text{solo}}$  = peso do solo em g;

$C_{\text{mic}}$  = carbono microbiano, em  $\text{mg kg}^{-1}$ ;

$C_{\text{mic}}$  = carbono presente na biomassa microbiana ( $\text{mg kg}^{-1}$ );

$CO_{\text{extrato(IR)}}$  e  $CO_{\text{extrato(NI)}}$  = representam o carbono presente nas amostras irradiadas e não irradiadas, respectivamente;

$K_c = 0,33$  (fator de correção proposto por SPARLING & WEST 1988).

### Nitrogênio da biomassa microbiana

O nitrogênio microbiano (NBMS) foi quantificado pelo uso de 5 mL do sobrenadante reservado da extração da biomassa microbiana (item 3.3.2.2). Uma alíquota de 5 mL foi transferida para um tubo de digestão (tipo Folin-Wu), a qual foi adicionado 700 mg da mistura digestora de  $CuSO_4$  e adicionado 5 mL de ácido sulfúrico. A digestão de cada amostra foi realizada com uma temperatura controlada de ebulição de  $360\text{ }^{\circ}C$  durante 5 h. Após resfriamento, o tubo contendo o material digerido foi transferido para o destilador de nitrogênio, onde foram adicionados 20 mL de  $NaOH\ 10\ mol\ L^{-1}$  e posterior destilação de todo o conteúdo do tubo. O destilado foi coletado em um erlenmeyer contendo 5 mL de ácido bórico a 2% e a quantificação do NBM foi obtida pela titulação de 20 mL do conteúdo destilado com uma solução padronizada de  $HCl\ 0,01\ mol\ L^{-1}$ . Como prova em branco para a análise do NBM de cada extrato, a cada sequência de amostras analisadas utilizou-se 5 mL de água destilada.

O nitrogênio presente na biomassa microbiana foi calculado conforme as equações 16 e 17, respectivamente.

$$NT = \frac{(V_{am} - V_{pb}) \times F_{\text{ácido}} \times N \times V_{\text{total}} \times 1000}{V_{\text{destilado}} \times P_{\text{solo}}} \quad (16)$$

$$N_{mic} = \frac{NT_{Ir} \times NT_{Nir}}{K_n} \quad \text{Sendo:} \quad (17)$$

$NT$  = Nitrogênio total,  $g\ Kg^{-1}$ ;

$V_{am}$  = volume de ácido clorídrico, em mL, gasto na titulação da amostra;

$V_{pb}$  = volume de ácido clorídrico, em mL, gasto na titulação da prova em branco;

$F_{\text{ácido}}$  = fator do ácido clorídrico, normalidade real do ácido clorídrico;

$V_{total}$  = volume, em mL, do extrato de digestão;

$V_{destilado}$  = volume, em mL, da alíquota do extrato destilado

$P_{solo}$  = massa do solo, em g;

1000 = fator de correção para converter g para kg;

$N$  = peso atômico do nitrogênio = 14

$N_{mic}$  = nitrogênio da biomassa microbiana do solo;

$NT_{ir}$  = nitrogênio total da amostra irradiada;

$NT_{Nir}$  = nitrogênio total da amostra não irradiada;

$K_n = 0,54$  (fator de correção proposto por BROOKES, 1995).

### Quociente metabólico

O quociente metabólico foi calculado pela razão entre a respiração basal e o carbono da biomassa microbiana, conforme a equação 18 (PIRT, 1975; ANDERSON & DOMSCH, 1990).

$$q_{CO_2} = \frac{\mu g CO_2 h^{-1} g^{-1} \text{ de solo}}{\mu g C_{mic} g^{-1} \text{ de solo}} \quad (18)$$

Sendo:

$q_{CO_2}$  = quociente metabólico;

$C_{mic}$  = carbono presente na biomassa microbiana, expresso em  $\mu g$ ;

$CO_2$  = dióxido de carbono desprendido do solo, expresso em  $\mu g$ ;

$h$  = hora total em que as amostras permaneceram incubadas;

$g$  = peso do solo;

### Quociente microbiano

O quociente microbiano foi calculado pela razão entre o carbono da biomassa microbiana e o carbono orgânico total do solo, conforme a equação 19.

$$q_{Mic} = \frac{C_{mic} \times 100}{COT} \quad (19)$$

Sendo:

$q_{mic}$  = quociente microbiano;

$C_{mic}$  = carbono presente na biomassa microbiana;

COT = carbono orgânico total.

### **3.3.6 Análise dos resultados**

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os resultados foram submetidos à análise de variância, e as médias das variáveis em cada profundidade foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Os atributos analisados também foram submetidos à análise de correlação de Pearson. As análises estatísticas foram processadas por meio de *software* ASSISTAT, versão 7,5 (SILVA, 2008).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Carbono orgânico

O maior teor de carbono orgânico (CO) foi encontrado na área cultivada com fruta no sistema orgânico (ASO) nas profundidades 0-0,05 e 0,05-0,10 m (Tabela 3).

Tabela 3. Teores de carbono orgânico (CO) em amostras de solo obtidas nas áreas cultivadas com frutas ou sob vegetação nativa no Distrito de Irrigação dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí (DITALPI).

Áreas cultivadas com frutas/sistema de manejo	Profundidade (m)			
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,15	0,15-0,20
	Carbono orgânico (g kg <sup>-1</sup> )			
GSC	3,63 d	2,10 e	1,98 a	1,35 a
GTO	10,33 c	2,80 de	2,07 a	1,34 a
CSC	9,33 c	3,57 cd	2,11 a	1,42 a
CTO	12,47 b	5,58 b	2,29 a	1,52 a
ASO	14,09 a	6,85 a	2,13 a	1,61 a
AVN	8,92 c	3,94 c	2,26 a	1,59 a

Médias seguidas de pelo menos uma letra em comum não diferi entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ( $p > 0,05$ ).

GSC – área cultivada com goiaba no sistema convencional (3 anos); GTO – área cultivada com goiaba em sistema de transição de convencional para orgânico (5 anos no sistema convencional e 2 anos no sistema orgânico); CSC – área cultivada com coco no sistema convencional (5 anos); CTO – área cultivada com coco em sistema de transição de convencional para orgânico (5 anos no sistema convencional e 2 anos sistema orgânico) ASO – área cultivada com acerola no sistema orgânico (3 anos) e AVN – área com vegetação nativa adjacente aos cultivos com frutas.

Os valores de CO encontrados na área cultivada com acerola sob manejo orgânico (ASO) nas profundidades de 0,0-0,05 e 0,05-0,10 m, respectivamente, foram maiores que os observados na área de vegetação nativa (AVN), com um aumento de carbono da ordem de 1,60 vezes na profundidade 0,0-0,05 m e de 1,74 vezes na profundidade 0,05-0,10 m. Quando se compara a área ASO com as áreas cultivadas com goiaba e coco sob manejo convencional (GSC e CSC), há também um incremento de CO da ordem de 3,88 e 1,55 vezes em relação ao GSC na profundidade 0,0-0,05 e 0,05-0,10 m, respectivamente; e de 1,51 e 1,91 vezes em relação à área cultivada com coco sob manejo convencional (CSC) nas profundidades 0,0-0,05 e 0,05-0,10 m, respectivamente.

Resultados semelhantes foram encontrados por Glover et al. (2000), em sistemas de produção de maçã, onde observaram, após sucessivas aplicações de compostos, aumentos nos teores de CO após quatro anos de adoção do sistema de cultivo orgânico em relação ao sistema convencional.

Este aumento no teor de CO em ASO pode ser atribuído à adição de composto orgânico e palha de carnaúba na copa das plantas, conforme descrito na caracterização das áreas estudadas (Tabela 1). O aumento do CO é importante para o solo da região de estudo, devido aos baixos níveis de matéria orgânica observada para a maioria dos solos nesta região, causando influências positivas nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (SPARLING 1997). Glover et al. (2000) também observaram maiores teores de CO em sistema de cultivo orgânico em comparação com o sistema convencional. Segundo Doran (2000), os resíduos orgânicos depositados no solo são essenciais no processo de aumento no teor de carbono orgânico.

Nas áreas cultivadas com frutas sob sistema convencional (GSC e CSC), a área cultivada com goiaba (GSC) apresentou as maiores perdas de CO em relação à área de vegetação nativa (AVN) nas profundidades 0,0-0,05 e 0,05-0,10 m. Esta área apresenta maior tempo sob manejo convencional (Tabela 1), apresentando reduções de 59,30% e 46,70% nos teores de CO nas profundidades 0-0,05 e 0,05-0,10 m, respectivamente. Os menores teores de CO encontrados nos sistemas GSC e CSC podem ser devidos à menor quantidade de resíduos orgânicos depositados no solo no sistema convencional, quando comparado ao sistema orgânico, bem como pela adoção de práticas mais intensas de cultivo do solo (incorporação de adubos industrializados, aplicações de pesticidas e outros), que resultam na aceleração do processo de decomposição do material orgânico do solo (DALAL, 1998; MARCHIORI JUNIOR & MELO, 2000). Para área de fruticultura, presume-se que o decréscimo no teor de CO do solo em relação à vegetação nativa, esteja relacionado principalmente com a baixa adição de resíduos (PÔRTO et al. 2009), como também pela intensificação da atividade biológica provocada pela correção da acidez e pela adubação, que proporcionam um ambiente mais favorável à ação dos microrganismos.

Os resultados confirmam a hipótese de que o manejo constante do solo no sistema convencional favorece a diminuição dos teores de matéria orgânica no solo.

Um dado a ser discutido neste trabalho é a constatação, nas áreas cultivadas com frutas em processo de transição do sistema convencional para orgânico (GTO e CTO), são os aumentos significativos nos teores de CO nas profundidades 0,0-0,05 e 0,05-0,10 m em relação às áreas sob manejo convencional (GSC e CSC). As áreas GTO e CTO na profundidade 0-0,05 m, apresentaram aumento de CO de 2,85 e 1,34 vezes, respectivamente, quando comparadas com os sistemas GSC e CSC; e de 1,56 e 1,33 vezes, na profundidade 0,05-0,10 m. Ao longo do tempo, o aumento de carbono orgânico é importante para a sustentabilidade do sistema por causa da influência da matéria orgânica nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (SPARLING, 1997).

#### 4.2 Nitrogênio total

Os maiores teores de nitrogênio total (Ntotal) foram encontrados na área cultivada com acerola sob manejo orgânico consolidado em todas as profundidades analisadas, com valores significativamente superiores aos da área sob vegetação nativa (Tabela 4).

Tabela 4. Teores de nitrogênio total (Ntotal) em amostras de solo obtidas nas áreas cultivadas com frutas ou sob vegetação nativa no Distrito de Irrigação dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí (DITALPI).

Áreas cultivadas com frutas/sistema de manejo	Profundidade (m)			
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,15	0,15-0,20
	Nitrogênio total (g kg <sup>-1</sup> )			
GSC	0,21 d	0,17 b	0,15 b	0,09 b
GTO	0,36 c	0,24 b	0,18 b	0,11 b
CSC	0,39 c	0,21 b	0,16 b	0,12 b
CTO	0,53 b	0,23 b	0,17 b	0,12 b
ASO	0,62 a	0,47 a	0,31 a	0,28 a
AVN	0,33 c	0,23 b	0,15 b	0,11 b

Médias seguidas de pelo menos uma letra em comum não diferi entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ( $p > 0,05$ ). GSC – área cultivada com goiaba no sistema convencional (3 anos); GTO – área cultivada com goiaba em sistema de transição de convencional para orgânico (5 anos no sistema convencional e 2 anos no sistema orgânico); CSC – área cultivada com coco no sistema convencional (5 anos); CTO – área cultivada com coco em sistema de transição de convencional para orgânico (5 anos no sistema convencional e 2 anos sistema orgânico) ASO – área cultivada com acerola no sistema orgânico (3 anos) e AVN – área com vegetação nativa adjacente aos cultivos com frutas.

Os aumentos no  $N_{total}$  em ASO em relação a área AVN foram de 1,88; 2,04; 2,06 e 2,55 vezes para as profundidades 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,15; 0,15-0,20 m, respectivamente. Esse resultado deveu-se, provavelmente, pelo maior uso da palha de carnaúba sob a copa da plantas de acerola, utilizadas em ASO em quantidade suficiente para manter a ciclagem de nutrientes e contribuir no acúmulo de matéria orgânica e, conseqüentemente, de N.

O menor teor de  $N_{total}$  foi encontrado na área cultivada com goiaba sob manejo convencional – GSC, principalmente na profundidade 0,0-0,05m, onde a redução foi de 36,36% quando se leva em consideração a área sob vegetação nativa (AVN). De acordo com alguns autores (SCHLESINGER, 1999), a ação antrópica no sistema *solo* causa mais perdas do que ganhos de carbono e, por extensão, de nitrogênio. No sistema de manejo convencional, essas perdas tendem a ser mais drásticas por causa da ruptura dos agregados, da oxidação dos compostos orgânicos a  $CO_2$  e das perdas de nitrogênio por lixiviação e erosão, e ainda pela ação da calagem (KLIEMANN, 1973, FREITAS et al., 2000). Porém, na outra área cultivada com frutas sob manejo convencional – CSC, o teor de nitrogênio total na profundidade 0,0-0,05 m não diferiu da área sob vegetação nativa (AVN). Essa diferença de comportamento pode estar associada à baixa decomposição e retenção do composto orgânico, assim como, a maior concentração das raízes nesta camada. Segundo Harris et al. (1966), o desenvolvimento radicular da vegetação influencia no aumento do CO do solo e, conseqüentemente, num maior teor de N. Assim, a cultura do coco, por apresentar grande concentração de raízes e com renovação constantemente pode contribuir para aumentar o teor de N.

Outro dado a ser considerado é que as áreas em processo de transição (GTO e CTO) apresentaram, na profundidade 0,0-0,05 m, maior teor de  $N_{total}$  em relação às áreas sob manejo convencional (GSC e CSC). Estes resultados demonstram que a exploração destas frutíferas sob sistema de manejo orgânico pode proporcionar aumentos significativos de nitrogênio para o solo.

### 4.3 pH e acidez potencial

Quanto ao pH do solo, os valores mais elevados foram observados na área sob cultivo orgânico consolidado e nas áreas em processo de transição para orgânico (Tabela 5). A elevação do pH em ASO e nas áreas em conversão (GTO e CTO) está diretamente relacionada com a prática da adubação orgânica, sugerindo que a adição do composto orgânico contribuiu para anular as cargas positivas da matriz mineral do solo pela adsorção específica de ânions orgânicos, resultando em baixa acidificação do solo. Esta constatação foi confirmada pela análise de correlação entre pH do solo e CO ( $r = 0,51$ ,  $p < 0,01$ ).

Tabela 5. Valores de pH em amostras de solo obtidas nas áreas cultivadas com frutas ou sob vegetação nativa no Distrito de Irrigação dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí (DITALPI) .

Áreas cultivadas com frutas/sistema de manejo	Profundidade (m)			
	0-0,05	0,05-0,10m	0,10-0,15	0,15-0,20
	pH em água			
GSC	6,10 c	5,40 c	5,49 b	5,91 b
GTO	6,44 a	6,10 ab	5,77 a	5,93 b
CSC	5,97 cd	5,43 c	5,81 a	5,18 c
CTO	6,15 bc	6,38 a	6,04 a	5,87 b
ASO	6,41 ab	6,19 ab	6,03 a	6,57 a
AVN	5,81 d	5,94 b	5,48 b	4,75 d

Médias seguidas de pelo menos uma letra em comum não diferi entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ( $p > 0,05$ ).

GSC – área cultivada com goiaba no sistema convencional (3 anos); GTO – área cultivada com goiaba em sistema de transição de convencional para orgânico (5 anos no sistema convencional e 2 anos no sistema orgânico); CSC – área cultivada com coco no sistema convencional (5 anos); CTO – área cultivada com coco em sistema de transição de convencional para orgânico (5 anos no sistema convencional e 2 anos sistema orgânico) ASO – área cultivada com acerola no sistema orgânico (3 anos) e AVN – área com vegetação nativa adjacente aos cultivos com frutas.

Resultados semelhantes foram relatados por Heckler et al. (1998), De Maria et al. (1999) e Carvalho et al. (2004), que observaram uma baixa acidificação na superfície do solo devido à capacidade tampão como resultado da aplicação de resíduos orgânicos. Theodoro et al. (2003), ao compararem as mudanças ocorridas nos atributos de um Latossolo Vermelho distrófico (LVd), cultivado com cafeeiro em sistemas orgânico, em conversão e convencional, em relação ao solo sob mata nativa, verificaram aumento de pH nos sistemas orgânico e em conversão, devido às

práticas de calagem, adubação orgânica e cobertura vegetal permanente do solo. Aumento de pH devido ao aumento no teor de matéria orgânica tem sido verificado por diferentes pesquisadores (ISMAIL et al., 1994; THEODORO et al., 2003).

Valores mais elevados de pH na camada superficial do solo que em profundidade no perfil têm sido verificado por diferentes pesquisadores (DE MARIA, 1999; SANTOS et al., 2001; FALLEIRO et al., 2003). Esse efeito está relacionado ao poder tamponante da matéria orgânica e, ou, ao aumento da força iônica da solução do solo devido ao aumento nos teores de alguns nutrientes na camada superficial (CADAVID et al., 1998; FRANCHINI et al., 1999).

A acidez total (H+Al) também foi menor em ASO, CTO e GTO nas profundidades 0-0,05 e 0,05-0,10 m, o que também pode ser explicado, pelo maior teor de carbono orgânico nestas áreas.

Tabela 6. Acidez potencial (H+Al) em amostras de solo obtidas nas áreas cultivadas com frutas ou sob vegetação nativa no Distrito de Irrigação dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí (DITALPI).

Áreas cultivadas com frutas/sistema de manejo	Profundidade (m)			
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,15	0,15-0,20
	Acidez Potencial (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )			
GSC	1,72 b	1,79 a	1,48 ab	1,69 bc
GTO	1,09 d	0,84 d	1,18 b	0,93 d
CSC	2,07 b	1,65 a	1,72 a	1,90 ab
CTO	1,21 cd	1,44 bc	1,21 b	1,50 bc
ASO	1,00 d	1,08 cd	1,33 b	1,26 cd
AVN	2,70 a	1,98 a	1,47 b	2,28 a

Médias seguidas de pelo menos uma letra em comum não diferi entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (p>0,05).

GSC – área cultivada com goiaba no sistema convencional (3 anos); GTO – área cultivada com goiaba em sistema de transição de convencional para orgânico (5 anos no sistema convencional e 2 anos no sistema orgânico); CSC – área cultivada com coco no sistema convencional (5 anos); CTO – área cultivada com coco em sistema de transição de convencional para orgânico (5 anos no sistema convencional e 2 anos sistema orgânico) ASO – área cultivada com acerola no sistema orgânico (3 anos) e AVN – área com vegetação nativa adjacente aos cultivos com frutas.

No estudo de correlação, verificou-se que acidez potencial correlacionou-se de forma negativa com o carbono orgânico do solo ( $r = -0,70$ ,  $p < 0,01$ ). Estes resultados são semelhantes àqueles relatados por Moreti et al. (2007), que observaram baixa acidez potencial no solo após aporte de resíduos orgânicos como esterco de galinha.

A maior acidez potencial na área AVN é justificada pela não aplicação de corretivo, representando a acidez original do solo.

#### 4.4 Alumínio trocável

Quanto ao teor de  $Al^{3+}$  (Tabela 7), verificou-se que os valores encontrados foram baixos nas áreas analisadas em todas as profundidades.

Os maiores valores foram encontrados na área sobre vegetação nativa (AVN), em todas as profundidades, e nas áreas com manejo convencional (GSC e CSC), nas profundidades 0-0,05 e 0,05-0,10 m.

Tabela 7. Alumínio trocável ( $Al^{3+}$ ) em amostras de solo obtidas nas áreas cultivadas com frutas ou sob vegetação nativa no Distrito de Irrigação dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí (DITALPI).

Áreas cultivadas com frutas/sistema de manejo	Profundidade (m)			
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,15	0,15-0,20
	$Al^{3+}$ (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )			
GSC	0,15 a	0,11 a	0,05 c	0,03 d
GTO	0,03 b	0,01 c	0,02 d	0,07 c
CSC	0,14 a	0,11 a	0,10 b	0,10 b
CTO	0,07 c	0,05 b	0,02 d	0,06 c
ASO	0,01 c	0,05 b	0,04 c	0,03 d
AVN	0,14 a	0,11 a	0,14 a	0,15 a

Médias seguidas de pelo menos uma letra em comum não diferi entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ( $p > 0,05$ ).

GSC – área cultivada com goiaba no sistema convencional (3 anos); GTO – área cultivada com goiaba em sistema de transição de convencional para orgânico (5 anos no sistema convencional e 2 anos no sistema orgânico); CSC – área cultivada com coco no sistema convencional (5 anos); CTO – área cultivada com coco em sistema de transição de convencional para orgânico (5 anos no sistema convencional e 2 anos sistema orgânico) ASO – área cultivada com acerola no sistema orgânico (3 anos) e AVN – área com vegetação nativa adjacente aos cultivos com frutas.

O maior teor de alumínio trocável em AVN pode estar relacionado com a lixiviação das bases trocáveis ou pela absorção pelas plantas, e a menor disponibilidade das bases trocáveis pela decomposição da massa vegetal ao longo do ano, o que é mais evidente em solos pobres em nutrientes e com baixo tamponamento, como os Neossolos. O maior teor de alumínio em GSC e CSC talvez seja função dos menores valores do pH encontrado nestas áreas. Essa hipótese foi

confirmada pelo estudo de correlação, pois o Al correlacionou-se com o pH ( $r=-0,57$ ;  $p<0,05$ ).

Os menores valores de Al foram encontrados nas áreas GTO, CTO e ASO, principalmente nas profundidades 0-0,05 e 0,05-0,10 m, o que pode ser em função do efeito da matéria orgânica complexando parte desse elemento e reduzindo sua extração pela solução de KCl. De acordo com Bayer et al. (1999), a matéria orgânica pode formar complexos estáveis e neutralizar o Al trocável, diminuindo seu efeito prejudicial sobre as culturas. Andreola et al. (2000) apresentaram vários estudos, demonstrando a redução dos teores de Al trocável no solo com o uso de esterco, atribuindo como principal causa a complexação do alumínio por agentes quelantes existentes nos materiais orgânicos. Os mesmos autores afirmam que quantidades elevadas de resíduos orgânicos acarretam aumentos nos valores de pH do solo. Com essa elevação, o Al trocável precipita-se na forma de hidróxido de alumínio, de forma que em solos com pH igual ou superior a 5,5 os teores de alumínio trocável são insignificantes (TOMÉ JÚNIOR, 1997; GIANELLO et al., 1995, citados por PERIN et al., 2003;).

#### **4.5 Potássio, cálcio e magnésio**

Para o potássio ( $K^+$ ), os maiores valores encontrados foram em ASO, em todas as profundidades analisadas, com valores superiores à área sob vegetação nativa (Tabela 8).

A ocorrência de maiores valores de K em ASO pode ser função do composto orgânico adicionado ao solo nessa área. Os acúmulos de nutrientes em áreas com uso contínuo de materiais orgânicos ocorrem devido à ampla variação na composição química dos materiais orgânicos (ANDREOLA et al., 2000). Outra justificativa dos maiores valores encontrados em ASO pode ser a elevação do pH, provocado pelo aumento de matéria orgânica, com aumento na quantidade de cargas negativas do solo (CTC, pH dependente), e assim há maior retenção de potássio e de outros cátions na fase sólida do solo, com menores perdas por lixiviação (MEURER & ANGHINONI, 1993). Para o cálcio ( $Ca^{2+}$ ), observou-se uma

similaridade com o  $K^+$ , embora em uma das áreas em processo de transição (CTO), se tenha encontrado uma concentração estatisticamente igual a área orgânica consolidada (ASO) na profundidade 0-0,5 m.

Tabela 8. Teores de  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  trocáveis e saturação de Bases (%V), em amostras de solo obtidas nas áreas cultivadas com frutas ou sob vegetação nativa no Distrito de Irrigação dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí (DITALPI).

Áreas cultivadas com frutas/sistema de manejo	Profundidade (m)			
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,15	0,15-0,20
	$K^+$ ( $cmol_c dm^{-3}$ )			
GSC	0,10 d	0,06 c	0,05 b	0,06 b
GTO	0,18 b	0,05 c	0,04 b	0,05 b
CSC	0,20 b	0,06 c	0,05 b	0,06 b
CTO	0,17 b	0,06 c	0,04 b	0,04 b
ASO	0,25 a	0,17 a	0,11 a	0,16 a
AVN	0,12 d	0,10 b	0,09 a	0,07 b
	$Ca^{2+}$ ( $cmol_c dm^{-3}$ )			
GSC	0,61 d	0,47 c	0,34 b	0,22 c
GTO	1,24 c	0,71 bc	0,63 b	0,59 a
CSC	2,28 b	1,04 b	0,58 b	0,45 b
CTO	3,49 a	0,93 b	0,67 b	0,56 c
ASO	3,59 a	1,79 a	1,21 a	0,77 a
AVN	1,35 c	0,46 c	0,35 b	0,20 c
	$Mg^{2+}$ ( $cmol_c dm^{-3}$ )			
GSC	0,25 e	0,13 d	0,09 c	0,07 c
GTO	1,00 a	0,28 bc	0,08 c	0,08 c
CSC	0,61 c	0,18 cd	0,09 c	0,09 c
CTO	0,97 a	0,35 ab	0,33 b	0,24 b
ASO	0,82 b	0,45 a	0,62 a	0,48 a
AVN	0,45 d	0,31 abc	0,24 b	0,09 c
	V%			
GSC	35,84 d	26,62 d	24,54 d	16,79 cd
GTO	69,43 b	54,36 b	37,15 c	58,14 a
CSC	60,24 c	44,17 c	28,73 d	23,04 bc
CTO	79,08 a	50,19 b	46,68 b	26,39 b
ASO	82,22 a	69,39 a	59,41 a	52,14 a
AVN	42,21 d	31,40 d	31,90 cd	13,97 d

Médias seguidas de pelo menos uma letra em comum não diferi entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ( $p>0,05$ ).

GSC – área cultivada com goiaba no sistema convencional (3 anos); GTO – área cultivada com goiaba em sistema de transição de convencional para orgânico (5 anos no sistema convencional e 2 anos no sistema orgânico); CSC – área cultivada com coco no sistema convencional (5 anos); CTO – área cultivada com coco em sistema de transição de convencional para orgânico (5 anos no sistema convencional e 2 anos sistema orgânico) ASO – área cultivada com acerola no sistema orgânico (3 anos) e AVN – área com vegetação nativa adjacente aos cultivos com frutas.

Para o  $Mg^{2+}$ , as maiores concentrações foram encontradas nas áreas em transição (CTO e GTO) e na área orgânica consolidada (ASO), na profundidade 0-0,05 m. Um dado a observar é que as áreas em processo de transição para orgânico (CTO e GTO) já apresentam maiores teores de magnésio em relação às áreas convencionais (GSC e CSC) nas profundidades 0-0,05, 0,05-0,10 m e até na profundidade 0,10-0,15 m (CTO).

As diferenças encontradas para  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  nas áreas estudadas estão relacionadas ao teor de matéria orgânica e ao pH do solo. A matéria orgânica, por exemplo, através dos colóides orgânicos adsorvem os mesmos, retendo-os em forma trocável, evitando perdas por lixiviação (CARVALHO, 2005). A elevação do pH do solo aumenta a quantidade de cargas negativas (CTC, pH dependente), e assim há maior retenção de cátions na fase sólida, com menores perdas por lixiviação (MEURER & ANGHINONI, 1993).

Essa hipótese se confirmou pela análise de correlação entre esses atributos e matéria orgânica do solo, onde para o  $K^+$  a correlação foi de 0,88 ( $p < 0,01$ ), Para o  $Ca^{2+}$  de 0,88 ( $p < 0,01$ ) e  $Mg^{2+}$  de 0,88 ( $p < 0,01$ ).

As áreas sob cultivo orgânico e em transição de convencional para orgânico apresentaram valores superiores de saturação de bases (V%) em relação à área nativa (AVN) e as áreas cultivadas no sistema convencional na camada superficial (0-0,05 m) e sub-superficial (0,15-0,20 m) (Tabela 8). A adição, na superfície do solo, de composto orgânico e MB-4, no manejo orgânico resultou em aumento nos valores V% em relação à ANV e, principalmente, em relação às áreas sob manejo convencional (GSC e CSC). Além disso, em solos permeáveis, como solos arenosos com altas taxas de infiltração, existe um efeito em sub-superfície pelo deslocamento das bases trocáveis para camadas mais profundas do solo.

#### 4.6 Fósforo

O maior teor de fósforo extraível (P) foi observado na área cultivada no sistema orgânico (ASO) em todas as profundidades analisadas. (Tabela 9).

Nessa área, além do composto orgânico adicionado ao solo, o fosfato de rocha ( $0,5 \text{ t ha}^{-1}$ ) e o pH mais alto foram os principais responsáveis por determinar maior teor de P extraível no solo. Resultados semelhantes foram mencionados por Criss et al. (2006), comparando os sistemas de manejo convencional e orgânico. Os mesmos autores atribuíram o achado à adição de composto, que contribuiu para o aumento no teor de nutrientes do solo. A maior concentração de P extraível em ASO é importante para os solos arenosos devido aos baixos níveis de P observados na área de vegetação nativa (AVN), uma vez que o Neossolo Quartzarênico é naturalmente pobre em P.

Tabela 9. Teores de fósforo (P) em amostras de solo obtidas nas áreas cultivadas com frutas ou sob vegetação nativa no Distrito de Irrigação dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí (DITALPI).

Áreas cultivadas com frutas/sistema de manejo	Profundidade (m)			
	0-0,05	0,05-0,10m	0,10-0,15	0,15-0,20
	Fósforo do (P) – $\text{mg dm}^{-3}$			
GSC	4,50 b	3,03 b	2,63 b	1,36 b
GTO	2,89 b	1,80 b	1,32 b	1,08 b
CSC	3,56 b	1,49 b	1,10 b	1,48 b
CTO	2,89 b	1,80 b	1,32 b	1,08 b
ASO	16,94 a	15,86 a	9,08 a	5,21 a
AVN	3,08 b	1,43 b	1,28 b	0,72 b

Médias seguidas de pelo menos uma letra em comum não diferi entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ( $p > 0,05$ ).

GSC – área cultivada com goiaba no sistema convencional (3 anos); GTO – área cultivada com goiaba em sistema de transição de convencional para orgânico (5 anos no sistema convencional e 2 anos no sistema orgânico); CSC – área cultivada com coco no sistema convencional (5 anos); CTO – área cultivada com coco em sistema de transição de convencional para orgânico (5 anos no sistema convencional e 2 anos sistema orgânico) ASO – área cultivada com acerola no sistema orgânico (3 anos) e AVN – área com vegetação nativa adjacente aos cultivos com frutas.

#### 4.7 Carbono nas frações húmicas da matéria orgânica

Os resultados obtidos a partir das análises dos teores de carbono correspondentes às frações dos ácidos húmicos ( $C_{FAH}$ ), ácidos fúlvicos ( $C_{FAF}$ ) e fração humina ( $C_{FHUM}$ ) nas profundidades 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,15; 0,15-0,20 m demonstraram que houve diferenças significativas entre as áreas estudadas somente nas profundidades 0-0,5m e 0,05-0,10 m. Para as demais profundidades, os teores de carbono de todas as frações foram menores e sem diferenças significativas entre as áreas analisadas, indicando que os efeitos dos sistemas de manejo não se evidenciaram em decorrência dos menores teores de CO (Tabelas 10,11 e 12).

Em relação à fração ácidos fúlvicos ( $C_{FAF}$ ), os maiores valores foram encontrados nas áreas cultivadas sob manejo orgânico (ASO e GTO) e nas áreas sob vegetação nativa (AVN) nas profundidades 0,0-0,05 e 0,05-0,10 m (Tabela 10).

Tabela 10. Teores de carbono da fração ácidos fúlvicos (FAF) da matéria orgânica em amostras de solo obtidas nas áreas cultivadas com frutas ou sob vegetação nativa no Distrito de Irrigação dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí (DITALPI).

Áreas cultivadas com frutas/sistema de manejo	Profundidade (m)			
	0-0,05	0,05-0,10m	0,10-0,15	0,15-0,20
	Ácidos fúlvicos (FAF) – g kg <sup>-1</sup>			
GSC	0,66 c	0,31 b	0,29	0,23
GTO	1,42 a	0,68 a	0,25	0,21
CSC	0,77 c	0,36 b	0,28	0,24
CTO	1,02 b	0,64 a	0,31	0,25
ASO	1,73 a	0,64 a	0,32	0,27
AVN	1,56 a	0,63 a	0,33	0,26

Médias seguidas de pelo menos uma letra em comum não diferi entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ( $p>0,05$ ).

GSC – área cultivada com goiaba no sistema convencional (3 anos); GTO – área cultivada com goiaba em sistema de transição de convencional para orgânico (5 anos no sistema convencional e 2 anos no sistema orgânico); CSC – área cultivada com coco no sistema convencional (5 anos); CTO – área cultivada com coco em sistema de transição de convencional para orgânico (5 anos no sistema convencional e 2 anos sistema orgânico) ASO – área cultivada com acerola no sistema orgânico (3 anos) e AVN – área com vegetação nativa adjacente aos cultivos com frutas.

Constatou-se redução nas camadas superficiais (0-0,05; 0,05-0,10) na área cultivada com goiaba (GSC) e coco (CSC) sob manejo convencional em relação à área de vegetação nativa (AVN) da ordem de 57,69% na área GSC e 50,64% na

área CSC para profundidade 0,0-0,05 m, e 50,79% e 42,86% para a profundidade 0,05-0,10 m, respectivamente. O decréscimo de carbono da fração ácidos fúlvicos verificado nesses tratamentos pode ser explicado em função da grande degradação, quando um solo é submetido ao cultivo, principalmente nessas áreas que foram mais explorados sob manejo convencional do solo, e também a sua mobilidade no perfil, uma vez ser composta por moléculas pequenas e solúveis em meio ácido ou alcalino. A fração fúlvica é a fração humificada mais reativa, porém, com menor estabilidade, mais móvel e disponível ao ataque microbiano, principalmente, em solos com baixos teores de argila e matéria orgânica, como os Neossolos. Segundo Empinotti (1999), em solos com menor percentual de argila há aumento na possibilidade de compostos de baixo peso molecular serem removidos das profundidades superficiais.

A sequência de decréscimo entre as áreas cultivadas com frutas mostra uma tendência de menor redução de carbono na fração fúlvica nas áreas em processo de transição para orgânico e área cultivada sob manejo orgânico (GTO, CTO e ASO), com valores semelhantes ao da vegetação nativa (AVN). A fração fúlvica é a primeira a ser perdida, quando ocorre troca de manejo (vegetação nativa para área cultivada) por apresentar estruturas de fácil degradação, como constituintes derivados de carboidratos (NASCIMENTO et al., 1992). Além disso, a fração fúlvica (FAF) é encontrada em maior concentração nos macroagregados, os quais são mais fáceis de serem afetados pelo cultivo.

Quanto aos teores de carbono na fração ácidos húmicos (FAH), os maiores valores encontrados foram na área cultivada com acerola sob manejo orgânico (ASO), área cultivada com coco com transição para orgânico (CTO) e área cultivada com goiaba com transição para orgânico (GTO) na profundidade 0,0-0,05 m, com valores de 1,82, 1,80 e 1,76 vezes, respectivamente, em relação à área mantida em condições naturais (AVN) (Tabela 11).

Tabela 11. Teores de carbono da fração ácidos húmicos (FAH) da matéria orgânica em amostras de solo obtidas nas áreas cultivadas com frutas ou sob vegetação nativa no Distrito de Irrigação dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí (DITALPI).

Áreas cultivadas com frutas/sistema de manejo	Profundidade (m)			
	0-0,05	0,05-0,10m	0,10-0,15	0,15-0,20
	C-ácidos húmicos (FAH) - g kg <sup>-1</sup>			
GSC	0,67 c	0,56 c	0,41	0,29
GTO	2,48 a	1,20 b	0,48	0,29
CSC	0,61 c	0,44 c	0,46	0,32
CTO	2,54 a	1,36 b	0,43	0,35
ASO	2,57 a	1,77 a	0,45	0,36
AVN	1,41 b	1,47 a	0,47	0,38

Médias seguidas de pelo menos uma letra em comum não diferi entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ( $p > 0,05$ ).

GSC – área cultivada com goiaba no sistema convencional (3 anos); GTO – área cultivada com goiaba em sistema de transição de convencional para orgânico (5 anos no sistema convencional e 2 anos no sistema orgânico); CSC – área cultivada com coco no sistema convencional (5 anos); CTO – área cultivada com coco em sistema de transição de convencional para orgânico (5 anos no sistema convencional e 2 anos sistema orgânico) ASO – área cultivada com acerola no sistema orgânico (3 anos) e AVN – área com vegetação nativa adjacente aos cultivos com frutas.

Para profundidade de 0,05-0,10m observou-se que os maiores teores de carbono da fração ácidos húmicos foram encontrados ASO e AVN, não havendo diferenças significativas entre as duas áreas.

Nas áreas cultivadas com frutas sob manejo convencional (GSC e CSC) constatou-se uma mesma tendência de redução observada na fração ácidos fúlvicos. As diferenças significativas entre os sistemas de cultivo relacionadas aos teores de carbono encontrado superficialmente no cultivo convencional pode ser explicado pela baixa mobilidade no solo e, e também por conter sua estrutura de difícil degradação.

Nas demais profundidades e diferentes manejos os valores não diferiram entre se, devido à adição de compostos na área orgânica e adubação na área convencional, pois essa adição favorece o acúmulo e manutenção da fração.

A fração HUM, diferentemente dos ácidos fúlvicos e húmicos, a fração humina tem o processo de humificação mais complexo uma vez que possui uma estrutura mais estável, sendo difícil a degradação e conseqüentemente menos afetada pelos sistemas de cultivo. As diferenças entre as áreas foram apenas para as profundidades de 0-0,05 e 0,05-0,010 m, sendo que em ASO e CTO, na profundidade de 0-0,05 m observados os maiores valores. Com exceção da

profundidade 0,05-0,010 m, todas áreas frutíferas com processo de transição e orgânica (GTO,CTO e ASO), respectivamente, apresentaram teores de carbono da fração humina maior, quando sem compara com as áreas frutíferas sob manejo convencional (GSC e CSC). Isso ocorre devido à adição sistemática de composto orgânico nas áreas sob manejo orgânico, sendo esse aporte favorável as condições de humificação da matéria orgânica, o que não ocorre nas demais áreas sob manejo convencional. Na prática, o maior valor de C na forma de humina implica, em última instância, maior retenção de umidade, melhor estruturação do solo e maior retenção de cátions, características de extrema importância quando se trata de estudo e desenvolvimento de sistemas sustentáveis de produção agrícola.

Na área cultivada com goiaba sob manejo convencional (GSC), na profundidade 0,0-0,05 m houve uma redução de carbono da fração humina de 61,34%. Isso pode ser devido a diferença de manejo da área GSC, por possuir um taxa ou velocidade de formação desta fração humificada bem menor do que a taxa de degradação, em razão do menor aporte de carbono (Tabela 12).

Tabela 12. Teores de carbono da fração humina (FHUM) da matéria orgânica em amostras de solo obtidas nas áreas cultivadas com frutas ou sob vegetação nativa no Distrito de Irrigação dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí (DITALPI).

Áreas cultivadas com frutas/sistema de manejo	Profundidade (m)			
	0-0,05	0,05-0,10m	0,10-0,15	0,15-0,20
	C-fração humina (FHUM) - g kg <sup>-1</sup>			
GSC	2,30 e	1,23 e	1,28	0,83
GTO	6,43 c	1,29 e	1,34	0,84
CSC	7,95 b	2,77 c	1,37	0,86
CTO	8,91 a	3,17 b	1,55	0,92
ASO	9,79 a	4,44 a	1,36	0,98
AVN	5,95 d	1,84 d	1,46	0,95

Médias seguidas de pelo menos uma letra em comum não diferi entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ( $p>0,05$ ).

GSC – área cultivada com goiaba no sistema convencional (3 anos); GTO – área cultivada com goiaba em sistema de transição de convencional para orgânico (5 anos no sistema convencional e 2 anos no sistema orgânico); CSC – área cultivada com coco no sistema convencional (5 anos); CTO – área cultivada com coco em sistema de transição de convencional para orgânico (5 anos no sistema convencional e 2 anos sistema orgânico) ASO – área cultivada com acerola no sistema orgânico (3 anos) e AVN – área com vegetação nativa adjacente aos cultivos com frutas.

Quanto a distribuição das frações húmicas: fração ácidos fúlvicos (FAF), fração ácidos húmicos (FAH) e humina (FHUM) (Tabela 10, 11 e 12), verificou-se

para as diferentes áreas cultivadas com frutas sob manejo convencional, transicional e orgânico com frutas e profundidades estudadas, que a fração FHUM apresentou os maiores valores, principalmente, na área com acerola sob manejo orgânico já consolidado nas profundidades 0,0-0,05 e 0,05-0,10 m. Esse comportamento pode ser devido à constante deposição de material orgânico, a menor interferência antrópica e à associação desta fração com a matriz mineral do solo. Tais condições podem interferir na transformação da matéria orgânica e favorecer o acúmulo desta na forma de frações húmicas mais estáveis, neste caso a FHUM. Maiores proporções da fração C-HUM são característicos de solos de baixa fertilidade natural e textura arenosa, onde a maior parte do carbono orgânico é convertido nesta fração. Loss et al. (2004) estudando a matéria orgânica de Argissolos e Latossolos Amarelos dos tabuleiros costeiros, sob diferentes coberturas vegetais até a profundidade de 40 cm também encontraram maiores valores médios para a fração humina em detrimento as demais frações.

Para Fontana et. al (2006), elevados valores da Humina podem estar relacionados ao tamanho das moléculas e ao maior grau de estabilidade dessa fração. As FAF e FAH, por apresentarem menor estabilidade, podem ser translocadas para camadas mais profundas, ser polimerizadas ou mineralizadas, e diminuir, assim, seu teor residual no solo.

## **4.8 Atributos microbiológicos**

### **4.8.1 Carbono da biomassa microbiana**

A biomassa microbiana constitui a maior parte da fração ativa da matéria orgânica do solo. Seus valores são mais sensíveis à variações no ambiente do solo do que os valores de CO<sub>2</sub>, N<sub>total</sub> e carbono nas frações FAF, FAH e FHUM, sendo utilizada para avaliar as alterações da matéria orgânica provocada pelo cultivo do solo

Os resultados referentes ao carbono da biomassa microbiana (CBM), apresentados na tabela 13 mostram que houve diferença entre as áreas estudadas

em todas as profundidades. A área cultivada com acerola sob manejo orgânico (ASO) e a área cultivada com coco em transição para orgânico (CTO) apresentaram os maiores teores de carbono microbiano (CBM) nas profundidades 0,0-0,05 e 0,05-0,10 m, com valores superiores aos da área de vegetação nativa (AVN), usado como referência neste estudo.

Esses resultados expressam os efeitos das técnicas de manejo adotado, devido à aplicação semestral de composto orgânico em ASO, como também, em condições mais recente, na área CTO por já ser manejada com práticas de cultivo orgânico, o que vem contribuindo para maior acúmulo de resíduos vegetais nas camadas superficiais do solo.

Tabela 13. Carbono microbiano (CBM) em amostras de solo obtidas nas áreas cultivadas com frutas ou sob vegetação nativa no Distrito de Irrigação dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí (DITALPI).

Áreas cultivadas com frutas/sistema de manejo	Profundidade (m)			
	0-0,05	0,05-0,10m	0,10-0,15	0,15-0,20
	Carbono microbiano ----- $\mu\text{g g}^{-1}$ de solo -----			
GSC	47,27 d	35,27 d	24,55 d	8,75 d
GTO	151,02 b	76,54 b	60,00 b	31,45 b
CSC	136,40 c	61,64 c	44,73 c	26,73 c
CTO	277,09 a	123,27 a	55,09 b	34,36 b
ASO	317,45 a	143,45 a	105,45 a	103,09 a
AVN	145,23 b	93,09 b	63,84 b	44,18 b

Médias seguidas de pelo menos uma letra em comum não diferi entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ( $p>0,05$ ).

GSC – área cultivada com goiaba no sistema convencional (3 anos); GTO – área cultivada com goiaba em sistema de transição de convencional para orgânico (5 anos no sistema convencional e 2 anos no sistema orgânico); CSC – área cultivada com coco no sistema convencional (5 anos); CTO – área cultivada com coco em sistema de transição de convencional para orgânico (5 anos no sistema convencional e 2 anos sistema orgânico) ASO – área cultivada com acerola no sistema orgânico (3 anos) e AVN – área com vegetação nativa adjacente aos cultivos com frutas.

De acordo com Clark et al. (1998), a transição do sistema de manejo convencional para o orgânico é acompanhada por mudanças no comportamento das propriedades do solo, enquanto as diferenças fundamentais observadas, qualitativas e quantitativas, no fluxo e na distribuição dos nutrientes dependem do uso de plantas de cobertura, da aplicação de compostos e de esterco animal. Segundo De Fede et al. (2001), a adição de matéria vegetal pode proporcionar ao

solo um teor elevado de matéria orgânica e, desta forma, manter a população microbiana mais estável, provavelmente em decorrência da riqueza de nichos ecológicos, pela heterogeneidade das fontes de carbono.

As áreas com goiaba e coco sob manejo convencional (GSC e CSC) apresentaram os menores teores de CBM, sendo inferiores aos valores encontrados na área cultivada com ASO nas profundidades 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,15 e 0,15-0,20 m, o que evidencia a forte influência do manejo do solo sobre este atributo. Para Reganold et al. (2000), o manejo do solo no sistema convencional reduz o CBMS, por envolver baixa disponibilidade de resíduos vegetais, manutenção da cobertura vegetal, maior aplicação de agroquímicos.

Resultados semelhantes foram encontrados em cultivo de maçã por Ribeiro (2003), onde ficou evidenciado por que a qualidade do material orgânico pode ter contribuído para as diferenças dos teores de CBM entre os dois sistemas. Werner (1997) e Goh et al. (2000) constataram, em pomares orgânicos, o aumento no teor de CBMS em solos sob cultivo orgânico e integrado, em comparação ao sistema convencional.

Bromilow et al. (1996) mostraram que alguns inseticidas aplicados ao solo promovem redução do tamanho da biomassa microbiana. Esses resultados reforçam observações de diversos autores, que relacionam os sistemas conservacionistas com as melhores condições para o desenvolvimento dos microrganismos do solo (ROSCOE et al., 2006).

As melhorias, em função do manejo adotado, são observadas através dos maiores valores do CBM encontrado nas áreas cultivadas com GTO e CTO em relação aos teores de CBMS encontrados nas áreas com GSC e CSC nas profundidades 0-0,05 e 0,05-0,10 m, mostrando diferenças significativas com apenas dois anos em processo de transição para o orgânico.

Os valores de  $C_{mic}$  obtidos nesse estudo apresentaram correlação linear positiva com CO ( $r = 0,87$ ;  $p < 0,01$ ). Os resultados evidenciam que, de maneira geral, o CBMS tendeu a aumentar com a elevação dos valores do CO do solo, demonstrando que a quantidade de substrato orgânico disponível para as diferentes áreas foi fator preponderante para as diferenças verificadas no CBM.

Os resultados apontam que o carbono microbiano mostrou-se mais adequado que o carbono orgânico (CO) para prever uma resposta sobre diferenças entre áreas cultivadas sobre diferentes sistemas de manejo, contribuindo para reforçar o uso do carbono microbiano como um indicador em potencial para detectar modificações causadas por intervenções antrópicas no solo (ANDRÉA et al., 2002; JORDAN et al., 2004; DÍAZ-RAVIÑA et al., 2005), antes mesmo que os teores de matéria orgânica sejam alterados significativamente (MATSUOKA et al., 2003).

#### 4.8.2 Nitrogênio da biomassa microbiana

Os valores de nitrogênio microbiano (NBM) também foram maiores nas profundidades 0,0-0,05 m (Tabela 14).

Tabela 14. Nitrogênio microbiano (NBM) em amostras de solo obtidas nas áreas cultivadas com frutas ou sob vegetação nativa no Distrito de Irrigação dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí (DITALPI).

Áreas cultivadas com frutas/sistema de manejo	Profundidade (m)			
	0-0,05	0,05-0,10m	0,10-0,15	0,15-0,20
	Nitrogênio microbiano (NBM) ----- $\mu\text{g g}^{-1}$ de solo -----			
GSC	21,10 b	17,52 b	6,67 e	1,70 e
GTO	52,58 a	46,32 a	16,30 d	3,04 d
CSC	28,68 b	21,39 b	20,37 c	5,98 c
CTO	59,74 a	42,77 a	25,09 b	7,71 b
ASO	69,35 a	48,61 a	29,81 a	11,02 a
AVN	50,56 a	40,83 a	16,85 b	3,24 d

Médias seguidas de pelo menos uma letra em comum não diferi entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ( $p > 0,05$ ).

GSC – área cultivada com goiaba no sistema convencional (3 anos); GTO – área cultivada com goiaba em sistema de transição de convencional para orgânico (5 anos no sistema convencional e 2 anos no sistema orgânico); CSC – área cultivada com coco no sistema convencional (5 anos); CTO – área cultivada com coco em sistema de transição de convencional para orgânico (5 anos no sistema convencional e 2 anos sistema orgânico) ASO – área cultivada com acerola no sistema orgânico (3 anos) e AVN – área com vegetação nativa adjacente aos cultivos com frutas.

As áreas com valores superiores foram aquelas com cultivo da acerola sob manejo orgânico (ASO), áreas cultivadas com goiaba e coco sob manejo transicional para orgânico (GTO e CTO) e área de vegetação nativa (AVN). A maior quantidade

de NBM pode indicar maior potencial de mineralização de nitrogênio, conforme observado por Whitmore (1996).

As áreas cultivadas com GSC e CSC apresentaram os menores valores de NBM. Tomando-se como referência a área de vegetação nativa (AVN), observou-se redução no valor de NBM de 58,56%, 57,09, 60,41 e 44,01% na área GSC para as profundidades 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,15 e 0,15-0,20 m, enquanto em CSC as reduções nos valores de NBM foram observadas somente nas profundidades 0-0,05 e 0,05-0,10 m, na ordem de 43,28% e 47,61%, respectivamente.

#### 4.8.3 Respiração basal

A atividade microbiana, nas diferentes áreas e profundidades estudadas, foi estimada pela produção de CO<sub>2</sub> pela respiração basal acumulada ao final de 25 dias de incubação (Tabela 15).

Tabela 15. Respiração basal (Resp.basal) em amostras de solo obtidas nas áreas cultivadas com frutas ou sob vegetação nativa no Distrito de Irrigação dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí (DITALPI).

Áreas cultivadas com frutas/sistema de manejo	Profundidade (m)			
	0-0,05	0,05-0,10m	0,10-0,15	0,15-0,20
	Respiração basal (Resp. basal)			
	----- CO <sub>2</sub> - μg h <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup> de solo -----			
GSC	0,11 d	0,07 b	0,06 b	0,02 b
GTO	0,20 c	0,11 b	0,08 b	0,05 b
CSC	0,16 d	0,07 b	0,05 b	0,03 b
CTO	0,22 c	0,09 b	0,07 b	0,04 b
ASO	0,54 a	0,20 a	0,15 a	0,14 a
AVN	0,39 b	0,19 a	0,13 a	0,09 a

Médias seguidas de pelo menos uma letra em comum não diferi entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (p>0,05).

GSC – área cultivada com goiaba no sistema convencional (3 anos); GTO – área cultivada com goiaba em sistema de transição de convencional para orgânico (5 anos no sistema convencional e 2 anos no sistema orgânico); CSC – área cultivada com coco no sistema convencional (5 anos); CTO – área cultivada com coco em sistema de transição de convencional para orgânico (5 anos no sistema convencional e 2 anos sistema orgânico) ASO – área cultivada com acerola no sistema orgânico (3 anos) e AVN – área com vegetação nativa adjacente aos cultivos com frutas.

A maior respiração basal do solo, ao longo do período de incubação, foi constatada na área cultivada com acerola sob manejo orgânico na profundidade 0,0-

0,05 m, com valores superiores aos da área sob vegetação nativa (Tabela 15). Para as demais profundidades, a atividade microbiana em ASO não diferiu da área mantida em condições naturais (AVN), mas com valores superiores aos das outras áreas, independente da área cultivada com a frutífera estar ou não em processo transicional para cultivo orgânico. A maior liberação de CO<sub>2</sub>, ao longo do período de incubação na área cultivada com acerola sob manejo orgânico – ASO é atribuído a constante adição ao solo de composto orgânico (Tabela 1), como também da influência da cobertura do solo com palhas de carnaúba sob a copa das plantas, o que contribui para o acúmulo de matéria orgânica em frações lábeis, promovendo maior biomassa microbiana e atividade biológica sobre esse material. Nestas condições, há um fornecimento constante de material orgânico susceptível de decomposição, permanecendo o solo coberto, e com menor variação e níveis mais adequados de temperatura e umidade. Para Cattelan & Vidor (1990), o maior teor de biomassa microbiana encontra-se positivamente relacionado com a liberação de CO<sub>2</sub>.

Observando-se os dados obtidos para a profundidade 0,0-0,05 m, verifica-se que os valores da atividade microbiana das áreas em processo de transição para orgânico (GTO e CTO, respectivamente) apresentam aumentos significativos da atividade microbiana em relação as áreas sob manejo convencional (GSC e CSC, respectivamente).

O CO<sub>2</sub> emanado do solo por meio da respiração basal indica a intensidade com que os processos bioquímicos acontecem no ecossistema (PÔRTO et al., 2009). Entretanto, a interpretação desses resultados deve ser feita com cuidado, uma vez que elevadas taxas de liberação de CO<sub>2</sub> nem sempre indicam condições favoráveis. Isso significa, em curto prazo, maior disponibilidade de nutrientes para as plantas e, em longo prazo, perda de C orgânico do solo para atmosfera. A respiração basal sozinha não constitui um excelente indicador para inferir e/ou diferenciar diferenças entre sistemas de manejo do solo, principalmente nos solos de baixos conteúdos de material orgânico.

Esses resultados da respiração basal estão relacionados diretamente com a quantidade de carbono orgânico do solo, como também do carbono da biomassa

microbiana. Encontrou-se correlação positiva entre a Resp.basal e o NBM ( $r= 0,75$ ;  $p < 0,01$ ), como também entre Resp.basal e CO ( $r= 0,79$ ;  $p < 0,01$ ). Assim, a atividade microbiana nas diferentes áreas de estudo deve ter sido estimulada pela maior concentração de CBMS e CO. Mesmo constatando maior mineralização do carbono nas amostras de solo da área ASO e AVN, não foram observados menores teores de CO e CBMS, sugerindo que a entrada de carbono via resíduo vegetal e composto orgânico seja maior do que a perda via respiração microbiana.

#### 4.8.4 Quociente metabólico

A área cultivada com goiaba sob manejo convencional (GSC) e a área de vegetação nativa (AVN) apresentaram os maiores valores de  $qCO_2$  em todas as profundidades analisadas (Tabela 16). Maiores valores de  $qCO_2$  indicam que a população microbiana está consumindo mais carbono oxidável para sua manutenção (ANDERSON & DOMSCH, 1996).

Tabela 16. Quociente metabólico ( $qCO_2$ ) em amostras de solo obtidas nas áreas cultivadas com frutas ou sob vegetação nativa no Distrito de Irrigação dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí (DITALPI).

Áreas cultivadas com frutas/sistema de manejo	Profundidade (m)			
	0-0,05	0,05-0,10m	0,10-0,15	0,15-0,20
	$qCO_2 \times 10^{-3}$			
GSC	2,33 a	1,98 a	2,44 a	2,29 a
GTO	1,32 b	1,44 b	1,33 b	1,59 b
CSC	1,17 b	1,14 b	1,12 b	1,12 b
CTO	0,79 b	1,46 b	1,27 b	1,16 b
ASO	1,39 b	1,39 b	1,42 b	1,36 b
AVN	2,00 a	2,04 a	2,04 a	2,04 a

Médias seguidas de pelo menos uma letra em comum não diferi entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ( $p>0,05$ ).

GSC – área cultivada com goiaba no sistema convencional (3 anos); GTO – área cultivada com goiaba em sistema de transição de convencional para orgânico (5 anos no sistema convencional e 2 anos no sistema orgânico); CSC – área cultivada com coco no sistema convencional (5 anos); CTO – área cultivada com coco em sistema de transição de convencional para orgânico (5 anos no sistema convencional e 2 anos sistema orgânico) ASO – área cultivada com acerola no sistema orgânico (3 anos) e AVN – área com vegetação nativa adjacente aos cultivos com frutas.

De acordo com Anderson & Domch (1996), quocientes metabólicos elevados são indicativo de comunidades microbianas em estágios iniciais de desenvolvimento, com maior proporção de microrganismos ativos em relação aos inativos, ou seja, um

indicativo de populações microbianas sob algum tipo de estresse metabólico. Aumentos no  $qCO_2$  normalmente são observados em sistemas menos conservacionistas de produção ou quando se tem um ambiente com menor aporte de materiais orgânicos. Balota et al. (1998), em estudos realizados sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas, observaram valores de  $qCO_2$  até 28 % menores em áreas de plantio direto do que naquelas com plantio convencional. Todavia, Werner (1997) e Swezey et al. (1998) não encontraram diferenças no  $qCO_2$  entre pomares de maçã nos sistemas de produção convencional e orgânico, possivelmente como resultado do curto período da prática de manejo orgânico (dois e três anos de conversão, respectivamente), o que não permitiu, segundo os autores, quantificar diferenças entre as áreas estudadas.

Para as áreas sob manejo orgânico (ASO, GTO e CTO) e CSC, os valores de  $qCO_2$  foram menores. Esses menores valores de  $qCO_2$  indicam economia na utilização de energia, refletindo um ambiente mais estável e mais próximo ao seu equilíbrio. Os valores mais baixos de  $qCO_2$  observados nessas áreas refletem menor condição de estresse da biomassa microbiana do solo no sistema orgânico. Isso resulta em maior eficiência na utilização do C orgânico mineralizável, havendo maior incorporação de C orgânico nos tecidos microbianos e redução das perdas de C sob a forma de  $CO_2$  (ANDERSON, 2003). Os resultados indicam que as populações microbianas do solo nas áreas sob manejo orgânico têm menor necessidade energética para sua manutenção.

O quociente metabólico ( $qCO_2$ ) indica a eficiência da biomassa microbiana em utilizar o carbono disponível para biossíntese (SAVIOZZI et al., 2002). Deve-se considerar que uma biomassa é tanto mais eficiente, quanto menos C é perdido como  $CO_2$  (valores mais baixos de  $qCO_2$ ) e uma fração significativa de C é incorporada ao tecido microbiano.

#### 4.8.5 Quociente microbiano

O quociente microbiano ( $q_{Mic}$ ) vem sendo mencionado como importante indicador da qualidade da matéria orgânica do solo, sendo que variações nesse atributo podem refletir variações de matéria orgânica no sistema, a eficiência de conversão do carbono orgânico em carbono microbiano, perdas de carbono do solo e estabilização do carbono orgânico pelas frações minerais do solo (TÓTOLA & CHAER, 2002). O  $q_{Mic}$  aumenta ao longo do tempo com a entrada de matéria orgânica no solo e diminui com sua saída.

De maneira geral, os resultados do quociente microbiano ( $q_{Mic}$ ) obtidos ficaram entre os valores 0,27 e 7%, sugeridos por Anderson & Domsch(1989).

Os valores de quociente microbiano ( $C_{mic}/COT$ ) foram superiores a 1,0 em todas as áreas estudadas e em todas as profundidades. Matias et al. (2009) sugerem que valores superiores 1,0, indicam que carbono orgânico está disponível para a microbiota do solo (Tabela 17).

Tabela 17. Quociente microbiano ( $q_{Mic}$ ) em amostras de solo obtidas nas áreas cultivadas com frutas ou sob vegetação nativa no Distrito de Irrigação dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí (DITALPI).

Áreas cultivadas com frutas/sistema de manejo	Profundidade (m)			
	0-0,05	0,05-0,10m	0,10-0,15	0,15-0,20
	$q_{mic} = C_{mic}:COT - \%$			
GSC	1,30 b	1,68 b	1,24 b	1,59 b
GTO	1,46 b	2,42 a	2,33 a	2,35 a
CSC	1,46 b	1,73 b	1,59 b	1,32 b
CTO	2,30 a	2,91 a	1,76 b	2,15 a
ASO	2,33 a	2,10 a	2,14 a	1,77 b
AVN	1,63 b	2,36 a	1,96 ab	1,74 b

Médias seguidas de pelo menos uma letra em comum não diferi entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ( $p > 0,05$ ).

GSC – área cultivada com goiaba no sistema convencional (3 anos); GTO – área cultivada com goiaba em sistema de transição de convencional para orgânico (5 anos no sistema convencional e 2 anos no sistema orgânico); CSC – área cultivada com coco no sistema convencional (5 anos); CTO – área cultivada com coco em sistema de transição de convencional para orgânico (5 anos no sistema convencional e 2 anos sistema orgânico) ASO – área cultivada com acerola no sistema orgânico (3 anos) e AVN – área com vegetação nativa adjacente aos cultivos com frutas.

Ao contrario do quociente metabólico ( $qCO_2$ ), valores mais altos do quociente microbiano ( $qMic$ ) indicam uma matéria orgânica muito ativa e sujeita a transformações (HART et al., 1994 & SAMPAIO et al., 2008).

Os valores encontrados nas diferentes áreas frutíferas estão de acordo com a porcentagem proposta por Jenkinson & Ladd (1981), que consideram normal que 1 a 5% do carbono total do solo corresponda ao componente microbiano.

Os valores mais altos foram encontrados na área cultivada com acerola sob manejo orgânico consolidado (ASO), nas áreas com goiaba e coco em transição para orgânico (GTO e CTO) e área sob vegetação nativa (AVN), indicando maior contribuição da biomassa microbiana para o carbono orgânico do solo, tendo em vista que, a relação funciona como um indicativo do aporte de carbono da biomassa microbiana em relação ao carbono orgânico do solo. Segundo Goh et al. (2000), a relação CBM:CO foi um indicador sensível da qualidade do solo em sistemas de produção de maçã na Nova Zelândia. Neste estudo, os autores relataram que o C microbiano representou 2,35 % do CO em pomares orgânicos com oito anos de conversão para o sistema, valor este maior do que os encontrados nos pomares sob manejo convencional (1,72 %) e integrado (1,84 %). Contudo, Swezey et al. (1998) e Glover et al. (2000) não encontraram diferenças significativas entre as relações CBM:CO em pomares orgânicos, convencional e integrados nos EUA

Excetuando-se os resultados obtidos para a profundidade 0-0,05 m, a área cultivada com goiaba sob manejo convencional (GSC) e com coco sob manejo convencional (CSC) apresentaram os menores valores de  $qMic$ . Isso indica que nessas áreas a dinâmica da matéria orgânica é mais lenta, com aportes menores de resíduo orgânico ao solo.

## 5. CONCLUSÕES

O manejo do solo nos sistemas convencional e orgânico promoveu diferentes comportamentos dos atributos químicos e biológicos.

As práticas agrícolas empregadas na área cultivada com acerola no sistema orgânico e na área cultivada com coco em transição de convencional para orgânico proporcionam aumento no carbono orgânico, nitrogênio total, pH, fósforo extraível e bases trocáveis ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^{+}$ ) e menor acidez potencial e alumínio trocável.

Os maiores teores de carbono nas frações ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina foram encontrados nas áreas ASO, GTO e CTO, com valores superiores a AVN. Nas áreas GSC e CSC, houve redução nos teores de carbono nas frações húmicas.

Os resultados demonstraram que o carbono e nitrogênio da biomassa, microbiana do solo a respiração basal, o quociente metabólico e o quociente microbiano foram mais influenciados pelos sistemas de manejo adotados no cultivo das frutíferas, sugerindo que os mesmos podem ser utilizados com indicadores em áreas submetidas a interferências antrópicas no solo a curto prazo.

## 6. REFERÊNCIAS

ALEF, K. Estimation of soil respiration. In: ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Eds.). **Methods in soil microbiology and biochemistry**. New York: Academic, p.464-470, 1995.

ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I. Ecologically based pest management: a key pathway to achieving agroecosystem health. In: NICHOLLS, C. I.; GARCIA, M. A.; ALTIERI, M. A. Curso de agroecologia, **Workshop sobre agroecologia e desenvolvimento sustentável**. Campinas: UNICAMP, v.2, n.6, 1999.

AMADO, T.J.C. MIELNICZUK, J. FERNANDES, S.B.V. & BAYER, C. Culturas de cobertura, acúmulo de nitrogênio total no solo e produtividade de milho. **Revista Brasileira de Ciência e Solo**, v.23, p.679-686, 1999.

ALVARENGA, M.I.N., SIQUEIRA, J.O.; DAVIDE, A.C. Teor de carbono, Biomassa Microbiana, agregação e micorriza em solos de cerrado com diferentes usos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v.23, n.3, p.617-625, 1999.

ALVAREZ, R.; DÍAZ, R. A.; BARBERO, N.; SANTA NATOGLIA, O.; BLOTA, L. Soil Organic carbon, microbial biomass and CO<sub>2</sub>-C production from there tillage systems. **Soil & Tillage Research**. v.33, p.17-28, 1995.

ANDERSON, J.P.E. & DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology. Biochemistry.**, v.25, p.393-395, 1996.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Ratio of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. **Soil Biology and Biochemistry.**, Oxford, v.21, n.4, p. 471-479, 1989.

ANDERSON, T.H. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. **Agriculture, Ecosystems Environment**, v.98, p.285-293, 2003.

ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. Application of ecophysiological quotients (qCO<sub>2</sub> and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. **Soil Biology and Biochemistry**, Cambridge, v.22, p.251–255, 1990.

ANDRÉA, A.F. d'; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O.; CARNEIRO, M.A.C. Atributos biológicos applied soil microbiology and biochemistry. **Academic Press**, 1995, 576 p.

ANDRÉA, A.F. d'; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O.; CARNEIRO, M.A.C. Atributos Fiológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.26, n.4, p.913-923, 2002.

ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; MENDONÇA, E. S. & OLSZEWSKI, N. Propriedades químicas de uma terra roxa estruturada influenciada pela cobertura vegetal de inverno e pela adubação orgânica e mineral. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.609-620, 2000.

ARAÚJO, A. S. F. de; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, MG, v.23, p.66-67, 2007.

ARAÚJO, A. S. F.; SANTOS, B. B.; MONTEIRO, R. T. R. Responses of soil microbial biomass and activity for practices of organic and conventional farming systems in Piauí state, Brazil.. **European Journal of Soil Biology**. v.44, p.225-230, 2008.

BALLARÉ, C. L.; SCOPEL, A. L.; SANCHEZ, R. A. Plant photomorphogenesis in canopies, crop growth, and yield. **Horticultural Science**, v.30, p.1172-1181, 2000.

BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.53, p 215-230, 2000.

BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S. & HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua sustentabilidade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.641-649, 1998.

BASTOS, E. A.; NUNES, B. H.; ANDRADE JUNIOR, A. S. **Dados agro meteorológicos para o município de Parnaíba**, Pl. Teresina: EMBRAPA, 2000. 27p. (Documentos, 46).

BARNHISEL, R.; BERTSCH, P.M. Aluminium In: PAGE , A.L.; MILLER, R.H.; KEENEY, D.R. **Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties**. 2. ed. Madison: ASA, pt.2., p.275-296, 1982.

BAYER, C. & BERTOL, I. Características químicas de um cambissolo húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p. 687-694, 1999.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L.; CERETTA, C.A. Effect of on no till ridding systems on soil organic matter in an sandy clay loam Acrisol from southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance of  $^{13}\text{C}$ . **Soil Tillage**, Amsterdam, v. 53, p. 95-104, 2000.

BETTIOL, W.; GHINI, R.; GALVÃO, J.A.H.; LIGO, M.A.V.; MINEIRO, J.L. C. Soil organisms in organic and conventional cropping systems. **Scientia Agrícola**, v. 59, p. 656-572, 2002.

BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. de A. **Extração e Fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo.** 2003. Comunicado Técnico 16. Embrapa.

BRASIL. **Presidência da República.** Lei 10.381 de 23 de dezembro de 2003. <http://extranet.agricultura.gov.br/sislegisconsulta/consultarLegislação.do?operação=visualizar=5114> em: Acesso em: 24/11/2009.

BRASIL. **Plano de Ação para o Desenvolvimento Integrado da Bacia do Parnaíba, PLANAP:** Síntese Executiva: Território da Planície Litorânea/ Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba- CODEVASF, 2006. Brasília: TODA Desenhos & Arte LTDA. 72p.

BRASIL. **Ministério da Agricultura e do Abastecimento.** Instrução normativa nº 007, de 17 de maio de 1999. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 19 de maio de 1999. Seção 1, p.11-14.

BROMILOW, R.H.; EVANS, A.A.; NICHOLLS, P.H.; TODD, A.D. & BRIGGS, G.G. The effects on soil fertility of repeated applications of pesticides over 20 years. **Pestic. Scientia.** v.48, p.63-72, 1996.

BURLE, M. L.; MIELNICZUK, J.; FOCCHI, S. Effect of cropping systems on soil chemical characteristics, with emphasis on soil acidification. **Plant and Soil**, The Hague, v.190, p.309-316, 1997.

BRADY, N.C. Suprimento e assimilabilidade do fósforo e do potássio. In: **NATUREZA e propriedade dos solos.** 7. ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, p.373-413, 1989.

BROOKES, D. C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.19, p.269-279, 1995.

CADAVID, L.F.; EL-SHARKAWY, M.A.; ACOSTA, A. & SÁNCHEZ, T. Long-term effects of mulch, fertilization and tillage on cassava grown in sandy soils in Northern Colombia. **Field Crops Res.** v. 57, p.45-56, 1998.

CAMARGO, A. M. P. de et al. Produção em agropecuária orgânica: considerações sobre o quadro atual. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 34, n. 7, p. 21-24. 2004.

CAMARGO, F.A.O.; SANTOS, G.A.; GUERRA, J.G.M. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese, 1999. p.27-39.

CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J. & PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um latossolo vermelho-escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.21, p.473-480, 1997.

CARNEIRO, M.A.C.; SOUZA, E.D.; REIS, E.F.; PEREIRA, H.S.; AZEVEDO, W.R. atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.21, p.147-157, 2009.

CARVALHO, F. **Atributos bioquímicos como indicadores da qualidade de solo em floresta de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze no Estado de São Paulo.** Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005. 79p. (Tese de Mestrado).

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.14, p.99-105, 1990.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J. & ARMANDO, M. S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** Brasília, DF, v.39(11), p.1153-1155, 2004.

CARVALHO, F. **Atributos bioquímicos como indicadores da qualidade de solo em floresta de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze no Estado de São Paulo.** Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005. 79p. (Tese de Mestrado).

CASTRO FILHO, C.; VIEIRA, M. J.; CASÃO JÚNIOR, R. Tillage methods and soil and water conservation in southern Brazil. **Soil Tillage**, Amsterdam, v.20, p.271-283, 1991.

CATTELAN, A. J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, SP, v.14, n.1, p.133-142, 1990.

CHAER, G.M.; TÓTOLA, M.R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma plantios eucalipto sobre indicadores qualidade solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1381-1396, 2007.

CHAVES, L.H.G.; CHAVES, I.B.; VASCONCELOS, A.C.F. LEÃO, A.B. Avaliação de potássio, matéria orgânica e fósforo em neossolos dos perímetros irrigados Engenheiro Arcoverde e São Gonçalo, PB. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.5, n.2, 2005.

COELHO, F. S.; VERLENGIA, F. **Fertilidade do solo**. 2 ed. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola. 1973.

COSTA, E.A.; GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G. de. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**. v.41, n.7, p.1185-1191, 2006.

CLARK, M.S.; HORWATH, W.R.; SHENNAN, C. & SCOW, K.M. Changes in soil chemical properties resulting from organic and low-input farming practices. **Agronomy Journal**., 90:662- 667, 1998.

D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O.; CARNEIRO, M.A.C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na Região do Cerrado do Sul do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.26, p.913-923, 2002.

DALAL, R.C. Soil microbial biomass – What do the numbers really mean? **Aust. J. Exp. Agric.**, v.38, p.649-665, 1998.

DALLA ROSA, A. **Práticas mecânicas e culturais na recuperação de características físicas de solos degradados pelo cultivo no solo Santo Ângelo (Latossolo Roxo Distrófico)**. Porto Alegre, 1981. 138p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Seropédica: UFRS.

DAY, P.R. Particle fraction and particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C.A., ed. **Methods of soil analysis**. Madison, **American Society of Agronomy**, v.1, p.545-566, 1965.

DE MARIA, I. C.; NABUDE. P. C.; CASTRO, O. M. Long-term tillage and crop rotation effects on soil chemical properties of a Rhodic Ferrasol in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.51, n.1-2, p.71-79, 1999.

DE FEDE, K. L.; PANACCIONE, D. G.; SEXTONE, A. J. Characterization of dilution enrichment cultures obtained from size-fractionated soil bacteria by community-level physiological profiles and restriction analysis of 16S rDNA genes. **Soil Biology and Biochemistry**, v.33, n.11, p.1555-1562, 2001.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. C, N e p na biomassa microbiana no solo. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. 2ª ed. Porto Alegre: metrópole, p.263-276, 2008.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. **Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo: método de fumigação-extração**. Seropédica: Embrapa-CNPAB, 1997. 10 p. (Embrapa- CNPAB. Documentos, 37).

DIAS, L.E. & GRIFITH, J.J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. In: **Recuperação de Áreas Degradadas**. Dias, L.E. & Mello, J.W.V. (eds). Viçosa-UFV, Departamento de Solos, p.1-8, 1998.

DÍAZ-RAVIÑA, M.; BUENO, J.; GONZÁLEZ-PRIETO, S.J.; CARBALLAS, T. Cultivation effects on biochemical properties, C storage and 15N natural abundance in the 0- 5 cm layer of an acidic soil from temperate humid zone. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v.84, n.2, p.216-221, 2005.

DORAN, J. W., & PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W., COLEMAN, D. C., BEZDICEK, D. F., STEWARD, B. A(eds.).**Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: SSSA. American Society of Agronomy, 1994, p.3-21(Spec.Public,35).

DORAN, J. W. & ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.15, p.3-11, 2000.

DUFRANC, G.; DECHEN, S.C.F.; FREITAS, S.S.; CAMARGO, O.A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois latossolos em plantio direto no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.505-517, 2004.

EHLERS, E. Por que Sir Albert Howard é considerado o “pai” da agricultura orgânica? 2005. Disponível em: [www.aao.org.br/ahoward.aps](http://www.aao.org.br/ahoward.aps) (2005). Acesso: 26/11/2009.

EMBRAPA– **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Novo Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. Brasília: Embrapa, 2006.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. 3ª ed. Rio de Janeiro: CNPS/EMBRAPA, 2005. 412p.

EMPINOTTI, V.L. **Conteúdo e qualidade da matéria orgânica em sistemas de manejo e classes de solo**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999. 101p. (Tese de Mestrado)

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**, Viçosa, MG, v. 27, p.1097-1104, 2003.

FEIDEN, A. **Conversão de Sistemas de Produção Convencionais para Sistemas de Produção Orgânicos**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, dez. 2001. 20p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 139).

FERREIRA, A.S.; CAMARGO, F.A.O.; VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.23, p.991-996, 1999.

FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; NASCIMENTO, G.B.; ANJOS, L.H.C.; EBELING, A.G. **Matéria orgânica em solos de tabuleiros na região norte-fluminense**. Floresta e Ambiente, v.8, n.1, p.114-119, 2001.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; CUNHA, T. J. F.; SALTON, J. C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.5, p.847-853. 2006.

FORTIN, M.C.; ROCHETTE, P. & PATTEY, E. Soil carbon dioxide fluxes from conventional and no-tillage small-grain cropping systems. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 60:1541-1547, 1996.

FISK, M.C.; & FAHEY, T.J. Microbial biomass and nitrogen cycling responses to fertilization and litter removal in young northern hardwood forests. **Biogeochemistry**, v.53, p.201-223, 2001.

FRANCHINI, J. C.; MEDA, A. R.; CASSIOLATO, M. E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Potencial de extratos de resíduos vegetais na mobilização do calcário no solo por método biológico. **Scientia Agrícola**. Piracicaba, SP, v 58, n.2, 2001.

FRANCHINI, J.C; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & MALAVOLTA, E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, DF, v.34, n.12, p. 2267-2276, 1999.

FREITAS, P. L.; BLANCANEUX, P.; GAVINELLI, E.; LARRÉ-LARROUY, M.; FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de Latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.35, n.1, p.157-170, 2000.

FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O. A.; C. M. GUIMARÃES, C. M.; SILVA, C. A.; FADIGAS, F. S. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de latossolo do cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.26, p.425-434, 2002.

FREIXO, A.A. **Caracterização da Matéria Orgânica de Latossolos sob diferentes sistemas de cultivo através de fracionamento físico e espectroscopia de infravermelho**: UFRRJ, 2000. 99p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2000.

FRIGHETTO, R. T. S. Análise da biomassa microbiana em carbono: método de fumigação extração. In: FRIGHETTO, R. T. S., VALARINI, P. J. (Coords). **Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, p.157-166. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 21), 2000.

GAMA-RODRIGUES, E. F. & GAMA-RODRIGUES, A. C. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. 2ª ed. Porto Alegre: metrópole, p.159-170, 2008.

GAMA-RODRIGUES, E.F. da Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O (Ed.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo, ecossistema tropicais e subtropicais**. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo e da serapilheira de povoamento de eucalipto. Seropédica: UFRRJ, 1999. 108p.

GARCIA, G.A.; BERNAL. M.P.; ROIG, A. Organic matter fractions involved in degradation and humification processes during composting. **Compost Science e Utilization**, v.13, p.127-135, 2005

GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; TEDESCO, M.J. Princípios de Fertilidade de solo. Departamento de solos, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1995.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. 2. Ed. Porto Alegre: UFRGS, 2000. 653p.

GLOVER, J.D.; REGANOLD, J.P.; ANDREWS, P.K. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. **Agriculture, Ecosystem & Environment**, v. 80, p.29-45, 2000.

GOEDERT, W.J.; SCHERMACK, M.J.; FREITAS, F.C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.37, p.223-227, 2002.

GOH, K.M.; BRUCE, G.E.; DALY, M.J. & FRAMPTON, C.M.A. Sensitive indicators of soil organic matter sustainability in orchard floors of organic, conventional and integrated apple orchards in New Zealand. **Biology, agriculture and horticulture.**, v17, p.197-205, 2000.

HARRIS, R.F.; CHESTERS, G.; ALLEN, O.N. Dynamics of soil aggregation. **Advances in Agronomy**, v.18, p.107-169, 1966.

HARRIS, J.A. Measurements of the soil microbial community for estimating the success of restoration **European Journal Soil Science**, Oxford, v.54, n.4, p.801-808, 2003.

HART, S.C.; STARK, J.M.; DAVIDSON, E.A. & FIRESTONE, M.K. Nitrogen mineralization, immobilization and nitrification. In: Weaver, R.W.; Augle, S.; Bottomly, P.J.; Bezdicek, D.; Smith, S.; Tabatabai, A. & Wollum, A., eds. Methods of soil analysis. Part 2. **Microbiological and biochemical properties**. Madison, SSSA, p.985-1018, 1994.

HAYES, M. H. B.; MALCOLM, R. L. Considerations of compositions and aspects of structures of Humic Substances. In C. E. Clapp et al (ed.) Humic Substances and Chemical Contaminants. **Soil Science Society of America**, Madison, v.65, p.3-39, 2001.

HECKLER, J.C.; HERNANI, L.C.; PITOL, C. Palha. In: SALTON, J.C.; HERNANI, L.C.; FONTES, C.Z (Org.). **Sistema plantio direto: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF, Embrapa – SPI, p.37-49, 1998.

HUE, N.V.; AMIEN, I. Aluminum detoxification with green manures. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.20, n.15/16, p.1499-1511, 1989.

INSAM, H.; DOMSCH, K.H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. **Microbial Ecology**. v.15, p.177-188, 1988.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Soil quality indicator properties en mid-atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal of Soil and Water conservation**, v.55, p.69-78, 2000.

ISMAIL, I.; BLEVINS, R.L. & FRYE, W.W. Long term no- tillage on soil properties and continuous corn yields. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.58, p.193-198, 1994.

JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E. A.; LADD, J. N. (Eds.) **Soil biochemistry**. New York: Marcel Dekker, v.5, p.415-47, 1981.

JORDAN, D.; MILES, R.J.; HUBBARD, V.C.; LORENZ, T. Effect of management practices and cropping systems on earthworm abundance and microbial activity in Sanborn Field: a 115-year-old agricultural field. **Pedobiologia**, Jena, v.48, n.2, p.99-110, 2004.

KAMINSKI, J. & RHEINHEIMER, D.S.; Modificações químicas de solo arenoso submetido ao sistema plantio direto. Universidade Federal de Santa Maria. **Anais...** (2000). Disponível em: [http://coralx.ufsm.br/ppgcs/congressos/XIII\\_Congresso\\_Latinoamericano/13.pdf](http://coralx.ufsm.br/ppgcs/congressos/XIII_Congresso_Latinoamericano/13.pdf)  
Acesso em: 04 de julho de 2009.

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

KHATOUNIAN, C. A. Estratégias de conversão para a agricultura orgânica. In: AMBROSANO, E. **Agricultura ecológica**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, p.57-71, 1999.

KLIEMANN, H. J. 1973. Componentes nitrogenados de alguns solos do Rio Grande do Sul e sua relação com a disponibilidade de nitrogênio para as plantas. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio. 76 p.

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

KLUMPP, A.; HINTEMANN, T.; SANTANA, L.J.; KANDELER, E. Bioindication of air pollution effects near a copper smelter in Brazil using mango trees and soil microbiological properties. **Environmental Pollution**, v.126, p.313–321, 2003.

KLUMPP, A. Utilização de bioindicadores de poluição em condições temperadas e tropicais. In: MAIA, N.B.; MARTOS, H.L.; BARRELA, W. **Indicadores ambientais: conceitos e aplicações**. 1 ed. São Paulo: EDUC, 2001, p.95-115.

KOCHIAN, L.V. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.46, p.237-260, 1995.

LAL, R. Conservation tillage for sustainable agriculture: tropics versus temperate environments, **Advence. Agronomy.**, v.42, p.85-197,1989.

LANYON, L.E.; HEALD, W.R. Magnesium, calcium and barium. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H.; KEENEY, D.R. **Methods of soil analysis: chemical and microbiological proterties**. 2. ed. Madison: ASA, pt.2, p.247-260,1982.

LARSON, W.E. & PIERCE, F.J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable mangement. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, Soil Science Society of America, p.37-51, 1994.

LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J.W. *et al.* (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: ASA/SSSA, 1994.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; ARINELLI, G.P.; BRITO, R.J.; ANJOS, L.H.C. Caracterização da matéria orgânica sob diferentes sistemas de manejo agrícola e cobertura vegetal em solos de Tabuleiro, no Estado do Rio de Janeiro. **Revista Agronomia**, UFRRJ, v.2, p.49-52, 2004.

LIMA, H.V.; OLIVEIRA, T.S.; OLIVEIRA, M.M.; MENDONÇA, E.S & LIMA, P.J.B.F. Indicadores de qualidade do solo em sistemas de cultivo orgânico e convencional no semi-árido cearense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, DF, v.31, n.5, p.1085-1098, 2007.

LOPES, A.S.; SILVA, M.C. GUILHERME, L.R.G. **Acidez do solo e calagem**. São Paulo, ANDA, 1990. 22 p. (Boletim técnico, 1).

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; ARINELLI, G. P. BRITO, R. J.; ANJOS, L. H. C. Caracterização da matéria orgânica sob diferentes sistemas de manejo agrícola e cobertura vegetal em solos de Tabuleiro, no Estado do Rio de Janeiro. **Revista Agronomia**, UFRRJ, v.2, p.49-52, 2004

MACHADO, P. L. O. A. Manejo da matéria orgânica de solos tropicais / Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado. - Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2001. 20 p. - (Embrapa Solos. Documentos ; n. 24).

MAGALHÃES, A.F.J. A importância da análise química de solo. Disponível em: <http://www.abam.com.br/artigos/Artigo%20-%20A%20IMPORT%C2NCIA%20DA%20AN%C1LISE%20QU%CDMICA%20DE%20SOLO.doc>  
Acesso em: 10 de julho de 2007.

MARCHIORI-JÚNIOR, M. & MELO, W.J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.35, p.1177-1182, 2000.

MARIN, A.; SANTOS, D.M.M.; BANZATTO, D.A.; CODOGNOTTO, L.M. Influência da Disponibilidade hídrica e da acidez do solo no teor de prolina livre de guandu. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.41, n.2, p.355-358, 2006.

MARQUES, R. Caracterização química da fertilidade do solo. In: LIMA, M.R. (ed.); SIRTOLI, A.E. et al. **Diagnóstico e recomendações de manejo do solo: aspectos teóricos e metodológicos**. Curitiba: UFPR/Setor de Ciências Agrárias, 2006. 381 p.

MARTINAZZO, R. **Diagnóstico da fertilidade de solos em áreas sob plantio direto consolidado**. 2006. 84 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

MATIAS, M.C.B.; SALVIANO, A. A. C.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F. . Biomassa microbiana e estoques de C e N do solo sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado do Estado do Piauí. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, PR, v.31, n.3, p.517-521, 2009.

MATSON, P. A.; PARTON, W. J.; POWER, A. G.; SWIFT, M. J. Agricultural intensification and ecosystem properties. **Science**, v.277, p.504-509, 1997.

MATSUOKA, M.; MENDES, I.C.; LOUREIRO, M.F.R. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.3, p.425-433, 2003.

McLEAN, E.O. Soil pH and lime requirement. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H.; KEENEY, D.R. **Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties**. 2.ed. Madison: ASA, 1982. Pt.2, p.199-223.

MEIRELLES, L. Produção e comercialização de hortaliças orgânicas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v.15, n.1, p.205-210,1997.

MELE, P.M.; CARTER, M.R. Effect of climatic factors on the use of microbial biomass as an indicator of changes in soil organic matter. In: MULONGOY, K.; MERCKX, R. (Eds.) **Soil organic matter dynamics ad sustainability of tropical agriculture**. New York: John Wiley & Sons, p. 57-64, 1993.

MELLO, F. de A. F. de; BRASIL SOBRINHO, M. de O. C. do; ARZOLLA, S. **Fertilidade do Solo**. São Paulo: Nobel, 1989. 400 p.

MENDES, I.C.; SOUZA, L.V.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C. Propriedades biológicas em agregados de um Latossolo Vermelho- Escuro sob plantio convencional e direto no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, MG, v.27, p.435-443, 2003.

MEURER, E.J.; ANGHINONI, I. Disponibilidade de potássio e sua relação com parâmetros de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, SP, v.17, n.3, p.377-382,1993.

MOREIRA A.; MALAVOLTA E.; VIRGENS FILHO A.C.; SILVEIRA R.L.V.A.; ABREU J. B. R. Avaliação da disponibilidade do fósforo no solo por métodos isotópico, químicos e biológico. **Scientia Agricola**, Piracicaba, SP, v.54, n.1, 1997.

MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. Editora UFLA, Lavras: UFLA, 2006. 729p.

MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras:UFLA, 2002. 625 p.

MORETI, D.; ALVES, M. C.; FILHO V. V. W.; CARVALHO, M. de P. Atributos químicos de um Latossolo vermelho sob diferentes sistemas de preparo, adubações e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.31, 167-175, 2007.

NASCIMENTO, V.M.; ALMENDROS, G. & FERNANDES, F.M. Soil humus characteristics in virgin and cleared areas of the Paraná river basin in Brazil. **Geoderma**, v.54, p.137-150, 1992.

NEVES, C. M. N. SILVA, M.L.N. CURI, N.; MACEDO, R.L. G.; TOKURA, A. M. Estoque de carbono em sistema agrossilvopastoril, pastagem e eucalipto sob cultivo convencional na região Noroeste do estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v.28, n.5, p.1038-1046, 2004.

NATALE, W.; PRADO, R.M.; MORO, F.V. Alterações anatômicas induzidas pelo cálcio na parede celular de frutos de goiabeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.40, n.12, p.1239-1242, 2005.

NICOLODI, M. Desafios à caracterização de solo fértil em química do solo. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 6., Passo Fundo, 2006. **Anais....** Passo Fundo, Embrapa, 2006. CD-ROM.

NOVAIS, R.F. SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV/DPS, 1999. 399p.

ODUM, E. P. The strategy of ecosystem development. **Science**, v.64, p.262-270, 1969.

OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, M.S.; RESCK, D.V.S.; CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.28, p.327-336, 2004.

OLIVEIRA, J.R.A.; MENDES, I.C. & VIVALDI, L. Carbono da biomassa microbiana em solos de cerrado sob vegetação nativa e sob cultivo: avaliação dos métodos fumigação-incubação e fumigação-extração. **Revista Brasileira de Ciência do solo**. Viçosa, MG, v.25, p.863-871, 2001.

OLSEN, S.R.; COLE, C.V.; WATENABE, F.S.; DEAN, L.A. **Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate**. Washington: USDA, 1954. 22p. (USDA. Circular, 939).

PALM, C.A.; SANCHEZ, P.A. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenol contents. **Soil Biology Biochemistry**, v.23, n.1, p.83-88, 1991.

PANKHURST, C.E.; HAWKE, B.G.; MCDONALD, H.J.; KIRKBY, C.A.; BUCKERFIELD, J.C.; MICHELSON, P.; O'BRIEN, K.A.; GUPTA, V.V.S.R.; DOUBE, B.M. Evaluation of soil biological properties as potential bioindicators of soil health. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.35, p.1015-1028, 1995.

PAPENDIK, R.; PARRA, J. F. Soil quality: The key to sustainable agriculture american. **Journal of Alternative Agriculture**, v.7, n.1/2, p.2-3, 1992.

PERIN, E.; CERETA, C. A.; KLAMT, E. Tempo de uso agrícola e propriedades químicas de dois Latossolos do Planalto médio do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, MG, v.27, p.665-674, 2003.

PILLON, C.N.; SCIVITTARO, W.B.; POTES, M.L.; MORAES, C.S.; MICHELS, G.H. & PEREIRA, J.S. Acúmulo de carbono orgânico por sistemas de cultura sob plantio direto em terras baixas. Resumos do II Congresso Brasileiro de Agroecologia. **Revista Brasileira de Agroecologia**. Cruz Alta, RS, v.2, n.1, 2007.

PIRT, S.J. **Principles of Microbe and Cell cultivation**. Oxford, Boston: Blackweel Scientific, 1975. p.274.

PÔRTO, M.L.; ALVES, J.C.; DINIZ, A.A.; SOUZA, A.P. & SANTOS, D. Indicadores biológicos de qualidade do solo em diferentes sistemas de uso no brejo paraibano. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, n.4, p.1011-1017, 2009

PRADO R. M.; NATALE W. Calagem na nutrição de cálcio e no desenvolvimento do sistema radicular da goiabeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n.10, p.1007-1012, 2004.

PRADO, R. M. Saturação por bases e híbridos de milho sob sistema plantio direto. **Scientia agricola**, Piracicaba, SP, v.58, n.2, p.391-394, 2001.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo**. São Paulo: Editora Nobel, 549p. 1990.

QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2000. 111p.

QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van; MALAVOLTA, E. Alternative use of the SMP — buffer solution to determine lime of soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.16, p.245-260, 1985.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 343p.

RAIJ, B. van. Seleção de métodos de laboratório para avaliar a disponibilidade de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, SP, v.2, p.1-9, 1978.

RAUEN, T.G.; DEBACHER, N.A; SIERRA, M.S. & SORIANO SIERRA, E.J. Tensoatividade de ácidos húmicos de procedências distintas. **Química. Nova**, São Paulo, v.25, n.6a, p.909-913, 2002.

REGANOLD, J. P.; GLOVER, J. D.; ANDREWS, P. K. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. **Agric. Ecosystem Env.**, v.80, p.29-45, 2000.

REGINA, R. V.; BRAUN, M. B. S.; LIMA, J. F.; STADUTO, J. A. R. **A agricultura orgânica como fonte de emprego e renda: um estudo de caso da produção vitivinícola**. Unioeste, Toledo, PR, 2004.

REICOSKY, D.C. & LINDSTROM, M.J. Fall tillage method: effect on short-term carbon dioxide flux from soil. **Agronomy Journal**, v.85, p.1237-1243, 1993.

REICOSKY, D. C.; KEMPER, W. D.; LANGLDALE, G. W.; DOUGLAS Jr., C. I.; RASMUNSEN, P. E. Soil organic matter changer resulting from tillage and biomass production. **Journal Water conservation**, v.50, p.253-262, 1995.

REIS JÚNIOR, F. B. e MENDES, I. C. Uso de parâmetros microbiológicos com indicadores para avaliar a qualidade do solo e a sustentabilidade dos agroecossistemas. In: FERTBIO, 27., 2006, Bonito. **Anais...** Bonito: SBCS/ SBM, EMBRAPA Agropecuária Oeste, 2006. CD-ROM.

RHEINHEIMER, D.S.; KAMINSKI, J. Modificações químicas de solo arenoso submetido ao sistema plantio direto. Universidade Federal de Santa Maria. Disponível em: [http://coralx.ufsm.br/ppgcs/congressos/XIII\\_Congresso\\_Latinoamericano/13.pdf](http://coralx.ufsm.br/ppgcs/congressos/XIII_Congresso_Latinoamericano/13.pdf)  
Acesso em: 04 de julho de 2009.

RIBEIRO, G.M. **Características químicas, físicas e biológicas do solo em pomares de macieiras conduzidos nos sistemas orgânico e convencional de produção**. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2003. 56p. (Tese de Mestrado).

RODRIGUES, G. S.; CAMPANHOLA, C. Sistema integrado de avaliação de impacto ambiental aplicado a atividades do Novo Rural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.4, p.445-451, 2003.

ROEL, A. R.; LEONEL, L. A. K.; FAVARO, S. P.; ZATARIM, M.; MOMESSO, C. M. V.; SOARES, M. V. Avaliação de fertilizantes orgânicos na produção de alface em Campo Grande, MS. **Scientia Agrária**, Curitiba, PR, v.8, n.3, p.325-329, 2007.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B.; FRANCHINI, J. C. S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana do solo: fração mais ativa da matéria orgânica. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. (Ed.). **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, p.163-198, 2006.

ROSOLEM, C.A.; SANTOS, F.P.; FOLONI, J.S.S. & CALONEGO, J.C. Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milho e chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, DF, v.41, p.1033-1040, 2006.

SÁ, J. C. M.; CERR, C. C.; DICK, W. A.; LAL, R.; VENZKE FILHO, S. P.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. E. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chornosequence in Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.65, p.1486-1499, 2001.

SAMPAIO, D.B.; ARAUJO, A.S.F. de and SANTOS, V.B.. Avaliação de indicadores biológicos de qualidade do solo sob sistemas de cultivo convencional e orgânico de frutas. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras: UFLA, MG, v.32, n.2, p.353-359, 2008.

SANTOS, A.C.; SILVA, I.F.; LIMA, J.R.S.; ANDRADE, A.P. & CAVALCANTE, V.R. Gramíneas e leguminosas na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características químicas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, MG, v.25, p.1063-1071, 2001.

SAVIOZZI, A.; BUFALINO, P.; LEVI-MINZI, R.; RIFFALD, R. Biochemical activities in a degraded soil restored by two amendments: a laboratory study. **Biology & Fertility of Soils**, Berlin, v.35, p.96-101, 2002.

SCHLESINGER, W. H. 1999. Carbon sequestration in soils. **Science**, Washington, 284(7): 2005.

SCHNITZER, M. Soil organic matter - The next 75 years. **Soil Science.**, v.151, p.41-58, 1991.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry; genesis, composition, reactions**. New York: John Wiley & Sons, 1994. 496p.

SILVA, I. F. da; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.21, p.313-319, 1997.

SILVA, C.A.; TORRES, E.; SOARES, R. et al.. Estoques de carbono e nitrogênio de Latossolo do Paraná sob diferentes sistemas de cultivo. In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 4., 2001, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, p.68-70, 2001.

SILVA, M.S.C. **Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais, em Paraty**, RJ. 2006. 54 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2006.

SILVA, F. A. S. ASSISTAT, versão 7,5- **Sistema de análise estatística**. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, 2008. (Software).

SOUZA, J. & RESENDE, P. **Manual de Horticultura Orgânica** – Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2003.

SOUZA, E.D. ; CARNEIRO, M.A.C.; PAULINO, H.B.; SILVA, C.A. & BUZETTI, S. Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá. PR, v.28, p.323-329, 2006.

SOUZA, J. L. **Agricultura orgânica**. Vitória: EMCAPA, 1998, v.1, p.169.

SPARLING, G. P. Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health. In: PANKHURST, C.; DOUBE, B. M.; GUPTA, V. V. S. R. (Eds.). **Biological indicators of soil health**. Cambridge: CAB International, p.97-120, 1997.

SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, v.30, p.195-207, 1992.

SWEZEY, S.L.; WERNER, M.R.; BUCHANAN, M. & ALLISON, J. Comparison of conventional and organic apple production systems during three years of conversion to organic management in coastal California. **American Journal of Alternative Agriculture**. v.13, p.162-180, 1998.

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**. Viçosa, MG, v.27, p.1039-1047, 2003.

TÓTOLA, M.R. & CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores de qualidade dos solos. In: ALVAREZ V. V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R., BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V; COSTA, L.M (Eds.) **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: SBCS, 2002, vol. 2, p.195-276.

TRANNIN, I.C. de B.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M. de S. Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de biossólido industrial e cultivo de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.31, p.1173-1184, 2007.

TRINDADE, A.V.; & ACCIOLY, A.M.A. Transformação e uso de resíduos orgânicos no Nordeste. In: FERTBIO (Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, Reunião Brasileira sobre Micorrizas, Simpósio Brasileiro de Microbiologia do solo, Reunião Brasileira de Biologia do Solo), 2006.

TSAI, S.M.; CARDOSO, E.J.B.N.; NEVES, M.C.P. **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992.

VEZZANI, F.M. & MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**. Viçosa, MG, v.33, n.4, p. 743-755. 2009.

VALARINI, P.J.; DÍAZ ALVAREZ, M.C.; GASCÓ, J.M.; GUERRERO, F.; & TOKESHI, H. Assessment of soil properties by organic matter and EMmicroorganism incorporation. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, MG, v.27, p.519-525, 2003.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology Biochemistry**, v.19, n.6, p.703-707, 1987.

VAUGHAN, D.; & ORD, B.G. Soil **organic matter: a perspective on its nature, extraction, turnover and role in soil fertility**. In:VAUGHAN, D.; MALCOLM, R.E. (Ed.). **Soil organic matterand biological activity**. Boston: Martinus & Junk, 1985. p.34. (Developments in plant and soil sciences, 16).

VERGINASSI, A.; RIBEIRO, N. B. P.; LACERDA, K. A. P.; BRAIT, M. A. H.; PEREIRA, H. S.; CARNEIRO, M. A. C.; CORDEIRO, M. A. S. Biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho distroférico de cerrado sob diferentes usos. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. 2007, Gramado. **Anais...** Gramado: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. CD-ROM.

VEZZANI, F.M.; & MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**. Viçosa, MG, v.33, n.4, p.743-755, 2009.

VITOI, V. Conversão não é apenas uma mudança de direção, mas um processo educativo. **Informativo ta na rede**, Seropédica, RJ, v.4, p.4-5, 2000.

VOLKOFF, B.; CERRI, C.C. L'humus des sols du Brésil: nature ET relations avec l'environnement. **Cahiers ORSTOM, Série Pédologie**, v.24, p.83-95, 1988.

WALKLEY, A.; & BLACK, I. A. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil science**, v.37, p.29-38, 1934.

WARDLE, D.A. Metodologia para quantificação da biomassa microbiana do solo. In: HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R.S. (Eds.) Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 542 p. (EMBRAPACNPAF. Documentos, 46).

WERNER, M.R. Soil quality characteristics during conversion to organic orchard. Appl. **Soil Ecology**. v.5, p.151-167, 1997.

WARDLE, D.A.; GHANI, A. Why is the strength of relationships between pairs of methods for estimating soil microbial biomass often so variable? **Soil Biology & Biochemistry**, v.27, n.6, p.821-828, 1995.

WHITMORE, A.P. Alternative kinetic laws to describe the turnover of the microbial biomass. **Plant Soil**, v.181, p.169-173, 1996.

ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIANO, T.M.; MILTNER, A. & SCHROTH, G. Factor controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, v.79, p.117-161, 1997.