



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**QUALIDADE DO SOLO E DESEMPENHO ECONÔMICO DO
CULTIVO DO MORANGO EM BRAZLÂNDIA, DISTRITO
FEDERAL**

JALES VIANA FALCÃO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

PUBLICAÇÃO: 44/2012

BRASÍLIA/DF
MARÇO/2012



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

QUALIDADE DO SOLO E DESEMPENHO ECONÔMICO DO
CULTIVO DO MORANGO EM BRAZLÂNDIA, DISTRITO
FEDERAL

JALES VIANA FALCÃO

ORIENTADORA: MARILUSA PINTO COELHO LACERDA
CO-ORIENTADORA: IEDA DE CARVALHO MENDES

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

PUBLICAÇÃO: 44/2012

BRASÍLIA/DF
MARÇO/2012

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**QUALIDADE DO SOLO E DESEMPENHO ECONÔMICO DO
CULTIVO DO MORANGO EM BRAZLÂNDIA, DISTRITO
FEDERAL**

JALES VIANA FALCÃO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM AGRONOMIA.

APROVADA POR:

**MARILUSA PINTO COELHO LACERDA, Doutora, Professora Associada.
(Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - Universidade de Brasília - UnB)
(ORIENTADORA) CPF: 434.760.586-20 / e-mail: marilusa@unb.br**

**SEBASTIÃO ALBERTO DE OLIVEIRA, Doutor, Professor Associado.
(Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - Universidade de Brasília - UnB)
(EXAMINADOR INTERNO) CPF: 052.361.771-20 / e-mail: oliveira@unb.br**

**ANÍSIO JOSÉ DINIZ, Doutor, Pesquisador da Embrapa Café
(EXAMINADOR EXTERNO) – CPF: 523.504.526-20 / e-mail: anisio.diniz@embrapa.br**

BRASÍLIA/DF, 30 de Março de 2012.

FICHA CATALOGRÁFICA

Falcão, Jales Viana

Qualidade do solo e desempenho econômico do cultivo do morango em Brazlândia, Distrito Federal. / Jales Viana Falcão; orientação de Marilusa Pinto Coelho Lacerda. – Brasília, 2012.

80 p. : il.

Dissertação de Mestrado (M) – Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2012.

1. Física do solo. 2. Química do solo. 3. Enzimas do solo. 4. Custo de produção 5. Rentabilidade. 6. Latossolo. I. Lacerda, Marilusa Pinto Coelho. II. Título.

CDD ou CDU
Agris / FAO

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

FALCÃO, J. V. Qualidade do solo e desempenho econômico do cultivo do morango em Brazlândia, Distrito Federal. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2012, 80 p. Dissertação de Mestrado.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Jales Viana Falcão

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Qualidade do solo e desempenho econômico do cultivo do morango em Brazlândia, Distrito Federal.

GRAU: Mestre

ANO: 2012

É concedida à Universidade de Brasília de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado para única e exclusivamente propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais, de publicação. Nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada à fonte.

Nome: Jales Viana Falcão

CPF: 726.520.711-49

Endereço: Setor Habitacional Tororó, Condomínio San Francisco 2, Rua 8, Lote 21.

Tel. (61) 8109-4111

Email: jalesfalcao@gmail.com

*Dedico à Adriana,
meu grande amor e minha fonte de
inspiração para a realização deste trabalho.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelos dons e pela proteção.

Aos meus Pais, José Baliza Falcão e Maria Mercedes Viana Falcão, pelos ensinamentos, pelo amor e pela educação com os quais me criou.

À Adriana, pelo amor, paciência e sabedoria, essenciais na realização deste trabalho.

Aos meus irmãos Fabíola, Fabiano e Zeca pelo apoio.

Ao meu chefe, Asdrúbal de Carvalho Jacobina (Jacaré), pelo apoio e compreensão.

À Marina, pela amizade, pelos incentivos e esclarecimentos.

À Prof. Marilusa, pela orientação e por ser exemplo de força e dedicação.

À pesquisadora Ieda de Carvalho Mendes, pela co-orientação e por ter sido tão solícita, colocando à minha disposição a sua equipe e o laboratório de microbiologia de solos da Embrapa Cerrados.

Aos Professores, Eiyti Kato, Cícero Figueiredo, Tairone Leão e Lucrecia, pelos esclarecimentos e pela ajuda.

Aos colegas, Fabiana e Manuel, pelas contribuições nas coletas de amostras de solo e nas análises.

Aos funcionários do laboratório de física e química do solo, Catarina e Luiz, pelo auxílio nas análises.

À Roberta, da Emater-DF, por auxiliar nas escolhas das unidades de produção de morango.

Aos três produtores de morango da região de Brazlândia, por terem possibilitado a realização desta pesquisa, deixando as “porteiças” de suas propriedades sempre abertas para o meu acesso.

Enfim, a todos aqueles e aquelas que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para a realização desta pesquisa.

Muito obrigado.

*“Nem tudo que se enfrenta pode ser modificado,
mas nada pode ser modificado
até que seja enfrentado.” (Albert Einstein)*

ÍNDICE

CAPÍTULO GERAL.....	Página
I – INTRODUÇÃO.....	01
II – REFERENCIAL TEÓRICO.....	04
II.1 – Qualidade do Solo e Manejo Sustentável.....	04
II.1.1 – Qualidade do Solo e Manejo Sustentável em Sistemas de Produção Orgânico versus Sistema de Produção Convencional.....	12
II.2 – Indicadores de Qualidade do Solo.....	14
II.2.1 – Físicos.....	15
II.2.1.1 – Densidade do Solo.....	15
II.2.1.2 – Estabilidade de Agregados.....	17
II.2.2 – Químicos.....	19
II.2.2.1 – Matéria Orgânica.....	19
II.2.2.2 – Capacidade de Troca Catiônica.....	22
II.2.2.3 – Condutividade Elétrica.....	23
II.2.3 – Biológico.....	26
II.2.3.1 – Atividade Enzimática.....	26
II.3 – A Cultura do Morango no DF.....	28
II.4 – Custo de Produção e Rentabilidade.....	29
III – OBJETIVOS.....	32
III.1 – Objetivo Geral.....	32
III.2 – Objetivos Específicos.....	32
IV – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32

ÍNDICE

CAPÍTULO ÚNICO.....	Página
I – INTRODUÇÃO.....	47
II – MATERIAL E MÉTODOS.....	48
II.1 – Caracterização da Área de Estudo.....	49
II.2 – Caracterização dos Solos das Áreas de Estudo.....	52
II.3 – Qualidade do Solo.....	54
II.3.1 – Amostragem do Solo.....	54
II.3.2 – Análise Textural.....	54
II.3.3 – Análise dos Indicadores Físicos de Qualidade.....	54
II.3.4 – Análise dos Indicadores Químicos de Qualidade.....	55
II.3.5 – Análise dos Indicadores Biológicos de Qualidade.....	55
II.4 – Custo de Produção e Análise Econômica.....	55
II.5 – Análise Estatística.....	56
III – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
III.1 – Caracterização dos Perfis dos Solos.....	57
III.2 – Textura dos solos das unidades produtivas.....	57
III.3 – Indicadores Físicos de Qualidade do Solo.....	59
III.4 – Indicadores Químicos de Qualidade do Solo.....	63
III.5 – Indicadores Biológicos de Qualidade do Solo.....	69
III.6 – Custo de Produção e Rentabilidade.....	71
IV – CONCLUSÕES.....	74
V – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75

ÍNDICE DE TABELAS

CAPÍTULO GERAL.....Página

Tabela 1. Estratégias para um manejo agrícola sustentável e proposta de indicadores para o desempenho do cultivo e para a saúde do solo e do meio ambiente (Fonte: Doran, 2002).....	09
---	----

CAPÍTULO ÚNICO.....Página

Tabela 1. Descrição e histórico dos sistemas de manejo das unidades de produção de morango.....	53
--	----

Tabela 2. Características físicas e morfológicas dos solos.....	59
--	----

Tabela 3. Características químicas dos perfis dos solos.....	59
---	----

Tabela 4. Valores de densidade do solo e estabilidade de agregados nas áreas avaliadas sob diferentes sistemas de produção de morango.....	61
---	----

Tabela 5. Teores de potássio, fósforo, cálcio e magnésio nas áreas de estudo.....	63
--	----

Tabela 6. Coeficientes de correlação de Pearson entre os atributos químicos, físicos e biológicos dos solos das áreas de estudo.....	64
---	----

Tabela 7. Valores de matéria orgânica, de capacidade de troca catiônica (CTC) e de condutividade elétrica nas áreas avaliadas sob diferentes sistemas de produção de morango.....	66
--	----

Tabela 8. Valores da atividade das enzimas beta-glicosidase e fosfatase ácida nas áreas avaliadas sob diferentes sistemas de produção de morango.....	70
--	----

Tabela 9. Custo variável de produção de 1 hectare de morango sob sistema convencional 2 (Conv2).....	73
---	----

Tabela 10. Custo variável de produção de 1 hectare de morango sob sistema orgânico (Org).....	74
--	----

Tabela 11. Produtividade (Prod), custo variável (CV), receita bruta (RB),
margem bruta (MB), ponto de equilíbrio (PE) e índice de rentabilidade (IR).....74

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO GERAL.....	Página
Figura 1. Hierarquia de um agroecossistema sustentável, mostrando a relação da qualidade do solo com o agroecossistema maior. (Fonte: Adaptado de Andrews et al., 2002a).....	08
CAPÍTULO ÚNICO.....	Página
Figura 1. Mapa de localização do alto curso do Rio Descoberto. (Fonte: Reatto et al., 2003).....	49
Figura 2. Unidade produtiva sob o sistema convencional de produção de morango após pastagem (Conv1).....	51
Figura 3. Unidade produtiva sob o sistema convencional de produção de morango em rotação com olerícolas (Conv2).....	51
Figura 4. Unidade produtiva sob o sistema orgânico de produção de morango (Org).....	52
Figura 5. Perfil representativo do Latossolo Vermelho da área sob sistema Org.....	57
Figura 6. Perfil representativo do Latossolo Vermelho da área sob sistema Conv1.....	58
Figura 7. Perfil representativo do Latossolo Vermelho da área sob sistema Conv2.....	58

QUALIDADE DO SOLO E DESEMPENHO ECONÔMICO DO CULTIVO DO MORANGO EM BRAZLÂNDIA, DISTRITO FEDERAL.

RESUMO

O manejo inadequado do solo concorre para a sua degradação, bem como para a redução da viabilidade econômica do processo de produção agrícola. O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade do solo e o desempenho econômico da cultura do morango na Região Administrativa de Brazlândia, Distrito Federal (DF), em sistemas de produção orgânico e convencional. Entre as olerícolas cultivadas no DF, o morango é uma das mais importantes no contexto socioeconômico, por ter um alto valor agregado e empregar muita mão-de-obra. Essa cultura é caracterizada por ser cultivada em canteiros cobertos com filme de polietileno e que são preparados mediante revolvimento intensivo do solo. Em função da exigência da cultura, há uma elevada entrada de nutrientes via fertilizantes sintéticos, esterco e compostos orgânicos. O estudo foi conduzido em três unidades de produção comercial de morango, localizadas em Brazlândia, e representativas dos sistemas de produção orgânico e convencionais adotados na região. Para avaliar a qualidade do solo foram selecionados indicadores de físicos (densidade do solo e estabilidade de agregados), químicos (matéria orgânica, CTC e condutividade elétrica) e biológicos (β -glicosidase e fosfatase-ácida), enquanto o desempenho econômico foi avaliado por meio de dados de custos de produção e de preços recebidos pelos produtores. Os valores observados para os indicadores físicos são, de maneira geral, considerados sustentáveis para Latossolos do Cerrado. Os teores de MO foram similares em todos os sistemas e a CTC foi superior ou ficou próxima ao limite crítico considerado sustentável. Em função da elevada aplicação de fertilizantes, a maior CE foi registrada para o sistema Conv2, mas não houve efeito deletério sobre a produtividade. A atividade das enzimas BG e FA, indica boa qualidade biológica do solo em todos os sistemas produtivos de morango. Em termos econômicos, o sistema orgânico de morango apresentou menor RB, mas foi 9,43% mais rentável do que o sistema convencional.

Palavras chave: física do solo, química do solo, enzimas do solo, custo de produção, rentabilidade, Latossolo.

SOIL QUALITY AND ECONOMIC PERFORMANCE OF STRAWBERRY CULTIVATION IN BRAZLÂNDIA, FEDERAL DISTRICT.

ABSTRACT

The inappropriate soil management contributes to its degradation, as well as to reduce the economic viability of the crop production. The objective of this study was to evaluate soil quality and economic performance of strawberry crop in Brazlândia, Distrito Federal (DF). Among the vegetable crops grown in the DF, strawberry is one of the most important at socio-economic context, by the high added value and labor. This crop is characterized by being cultivated in raised beds covered with polyethylene film and that are prepared by intensive soil tilling. According to requirement of the strawberry, there is a high input of fertilizer, manure and compost. The study was conducted in three commercial farms of strawberry, located in Brazlândia and representative of organic and conventional systems. In order to evaluate the soil quality were selected physical, chemical and biological indicators, while economic performance was evaluated using data of production costs and prices received by farmers. The values of physical indicators are generally considered sustainable for Cerrado Oxisols. The MO was similar in all systems and the CTC was higher or close to the critical limit considered sustainable. Due to the higher fertilizer input, the highest CE was found at the Conv2 system, but there was no negative impact in productivity. The activity of the BG and FA enzymes indicated good soil biological quality in all strawberry production systems evaluated. Regarding economical performance, the organic system had a lower RB, but was 9.43% more profitable than the conventional systems.

Keywords: soil physics, soil chemistry, soil enzymes, production cost, profitability, Oxisol.

I - INTRODUÇÃO

O crescimento populacional, as políticas de combate à pobreza e a melhoria dos padrões de consumo da população vêm impondo uma série de desafios à comunidade científica, principalmente sobre como equilibrar desenvolvimento econômico e exploração dos recursos naturais.

Dados publicados na Revista National Geographic Brasil (National Geographic Brasil, 2011) apontam que, em 2050, a população mundial pode chegar a 10,5 bilhões de habitantes. Segundo previsões do Banco Mundial, em 2030, mais de 1 bilhão de pessoas nos países em desenvolvimento farão parte da “classe média global”, ante 400 milhões em 2005. Como consequência, haverá uma pressão sobre o consumo de alimentos, tanto em quantidade como em qualidade. Em função disso, será preciso um esforço ainda maior por parte da pesquisa científica na busca por sistemas de produção mais sustentáveis em termos agronômicos, ambientais e econômicos.

O principal substrato da produção agrícola mundial é o solo, com cerca de cinco bilhões de hectares de área cultivada com culturas temporárias e permanentes (FAO, 2012). No entanto, esse recurso natural está cada vez mais escasso e ameaçado (FAO, 2009). Segundo dados da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO, 2004), em 1961 a proporção de área agricultável no mundo por pessoa era de 0,42 hectare. Já em 2004, esta proporção passou a ser de 0,23 hectare. Entre as causas dessa redução estão o aumento da população mundial nas últimas quatro décadas e o aumento de áreas degradadas que inviabilizaram a produção de alimentos.

O emprego de práticas de manejo inadequadas tem sido relatado como uma das principais causas de degradação dos solos agricultáveis. De acordo com Oldeman (1994), o ser humano é responsável por induzir a degradação de aproximadamente 40% dos solos agricultáveis do mundo. Os tipos de degradação mais comuns são a erosão, o esgotamento de nutrientes, a salinização, a compactação e a desertificação, que levam à redução da produtividade e da rentabilidade das culturas (Oldeman, 1994; Eswaran et al., 2001). Medidas de conservação e reabilitação dos solos tornam-se, então necessárias, para evitar o risco de um nível de degradação tão severo, ao ponto de trazer impactos negativos, tanto ao meio ambiente como à economia daqueles países que são altamente dependentes da agricultura (Rao & Rogers, 2006), como é o caso do Brasil (Brugnaro & Bacha, 2009).

Embora a produção de grãos, carnes e cana-de-açúcar sejam os destaques do agronegócio brasileiro, a olericultura vem ganhando cada vez mais espaço e está cada vez mais presente na mesa dos consumidores do mundo e do Brasil. Em parte, isso se deve às mudanças de hábito e à maior exigência dos consumidores por produtos mais saudáveis e/ou que tenham propriedades nutracêuticas. Para atender essa demanda, os produtores estão investindo cada vez mais em tecnologias de produção, com uso de variedades mais produtivas e ampliando as áreas de cultivo. Mas, junto à ampliação da produção, surge a preocupação quanto às técnicas de manejo adotadas e seus efeitos sobre a qualidade do solo (Reichert et al., 2003).

O termo qualidade do solo surgiu durante a década de 1990, em meio a uma preocupação mundial dos pesquisadores quanto ao nível de degradação dos solos, e do reconhecimento de que este é um importante componente da biosfera. Os solos são responsáveis pela produção de alimentos e fibras, além de atuar, também, em diversas funções dos ecossistemas e na manutenção da qualidade ambiental. Entre as definições mais aceitas sobre qualidade do solo está aquela dada por Karlen et al. (1997), ou seja: é a aptidão de um tipo específico de solo para funcionar dentro de sua capacidade e dos limites de um ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade das plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade da água e do ar, e promover a saúde humana e a habitação.

O Distrito Federal (DF) é a menor unidade da federação do Brasil, mas nem por isso é menos importante no contexto agrícola. Uma das principais atividades agrícolas desenvolvidas no DF é a olericultura, cuja área cultivada é de aproximadamente 6.545 hectares/ano, composta em sua grande maioria por pequenos agricultores. Nesse segmento, além do DF se mostrar como um mercado competitivo e atrativo, com consumo de 150 mil toneladas de hortaliças/ano, ainda é um centro de produção exportador de hortaliças, com valor da produção de cerca de R\$185 milhões/ano.

Apesar do setor agropecuário representar apenas 0,3% do PIB (Produto Interno Bruto) do Distrito Federal, é importante e estratégico, pois permite que o DF seja autossuficiente em alguns produtos, principalmente os olerícolas. Dentre as regiões com importância no cultivo de tais produtos no DF, destaca-se a Região Administrativa (RA) de Brazlândia, ocupando o primeiro lugar tanto em área como em produção hortícola ou olerícola do DF. Essa região administrativa, cuja área cultivada com hortaliças e frutas é de aproximadamente 1.446 hectares por ano, é responsável por atender 24% da demanda de hortifrutigranjeiros do DF. Os produtores são em sua maioria

caracterizados como familiares, com áreas cultivadas de até 5 hectares, estando boa parte destes inseridos no Projeto Integrado de Colonização Alexandre de Gusmão (PICAG) (Emater, 2009). Entre as olerícolas cultivadas no DF, o morango é uma das culturas de maior importância no contexto socioeconômico. A produção anual dessa cultura é de cerca de 4.700 toneladas, numa área cultivada de 141 hectares e tem como principal pólo produtor a RA de Brazlândia. Essa olerícola também é caracterizada por ter um alto valor agregado e empregar muita mão de obra.

Independente do sistema de produção, o morango produzido no DF é cultivado em canteiros cobertos com filme plástico (mulching) e que são preparados por meio de revolvimento intensivo do solo. Em função da exigência da cultura, há uma elevada entrada de nutrientes via fertilizantes sintéticos, esterco e compostos orgânicos. O uso de irrigação por gotejamento e/ou aspersão compõe os sistemas de produção adotados na região.

Brazlândia é uma região que apresenta uma rica rede de drenagem, responsável por abastecer a represa do Descoberto, que por sua vez abastece 60% da água tratada do DF. Problemas ambientais relacionados ao uso e ocupação das terras no DF, têm estimulado a avaliação da sustentabilidade do uso das terras nas microbacias que contribuem para este reservatório (Falcomer, 2001; Fonseca, 2001; Valentin, 2008; Chaves et al., 2010).

Mesmo com este potencial de degradação dos recursos naturais, principalmente do solo e da água, em função do uso de tecnologias e sistemas de manejo de produção inadequados, as atividades agrícolas desempenham um papel fundamental no contexto social e econômico ao permitir a produção de alimentos, a fixação do homem no campo, geração de renda e empregos. Segundo dados da Emater (2009), a população rural de Brazlândia é composta por 1.300 famílias, sendo que a atividade agropecuária é responsável por empregar 3.800 pessoas na região. Isso mostra que a atividade agrícola na região demanda atenção, na busca de mecanismos de desenvolvimento agrícola sustentável e integrado, a partir de indicadores ambientais, econômicos e sociais.

Verifica-se que são poucos os estudos envolvendo a qualidade do solo em sistemas de produção orgânico e convencional onde o solo é intensivamente trabalhado, como é o caso do morango (Reeve, 2007).

Diante destes fatos, este trabalho tem por objetivo avaliar atributos de qualidade do solo e o desempenho econômico da cultura do morango na RA de Brazlândia, em sistemas de produção orgânico e convencional.

II – REFERENCIAL TEÓRICO

II.1 – Qualidade do Solo e Manejo Sustentável

O solo é um recurso natural extremamente importante para a sustentabilidade ambiental, pois além de sustentar a produção vegetal, exerce funções na ciclagem e estoque de carbono e nutrientes, regula e compartimentaliza o fluxo de água, estoca e promove a ciclagem de elementos na biosfera e atua como tampão ambiental na formação, atenuação e degradação de compostos prejudiciais ao ambiente. Porém, a manutenção dessas funções está ameaçada pelo uso e manejo inadequado deste recurso (Eswaran et al., 2001).

Foi no decorrer da década de 1990 que vários cientistas começaram a estudar com mais frequência a qualidade do solo, propondo indicadores e ressaltando a importância do solo para a qualidade ambiental e para a sustentabilidade da produção agrícola. Então, a partir dessas discussões sobre o tema, que Doran & Parkin (1994) sugeriram o conceito de qualidade do solo (QS), e que foi aperfeiçoado mais tarde por Karlen et al. (1997) e vem se mantendo até hoje: “Qualidade do solo é a aptidão de um tipo específico de solo para funcionar dentro de sua capacidade e dos limites de um ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade das plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade da água e do ar, e promover a saúde humana e a habitação”. Ainda como consequência dessas discussões, observa-se um aumento no interesse em se avaliar e monitorar a QS submetido a diferentes sistemas de cultivo, e assim propor a tecnologia mais racional de uso do solo.

A qualidade do solo é conceituada como uma ligação importante entre as estratégias de manejo conservacionistas e a realização dos principais objetivos da agricultura sustentável (Doran, 2002). Tilman et al. (2002) define agricultura sustentável como sendo a prática que atenda as necessidades atuais e de longo prazo para a produção de alimentos, fibras e outras necessidades das sociedades, ao mesmo tempo em que maximiza os benefícios por meio da conservação dos recursos naturais, para manter outros serviços e funções do ecossistema, bem como o desenvolvimento humano de longo prazo. Essa definição enfatiza aspectos multidimensionais (econômicos, ambientais e sociais) para cumprir as metas de desenvolvimento agrícola sustentável. Dessa forma, a avaliação da sustentabilidade da produção agrícola não deve pautar sob um único aspecto - como a produtividade -, mas devem ser levados em consideração aspectos socioeconômicos e ambientais.

A FAO (1993) propôs quatro critérios para a definição de um manejo sustentável: (1) manutenção do nível de produção; (2) não incremento dos riscos; (3) manutenção da qualidade do solo e da água; e (4) os sistemas de produção devem ser economicamente viáveis e socialmente aceitáveis.

Atualmente, verifica-se que vários trabalhos têm sido desenvolvidos para avaliar as influências das práticas de manejo sobre a qualidade do solo e suas consequências sobre a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola, apoiados em conjuntos de indicadores de qualidade do solo, valores de referência para comparação, modelos de análise e avaliação, podendo-se citar: Reganold et al., 1993; Reganold et al., 2001; Andrews et al., 2002a, b; Mäder et al., 2002; Costa et al., 2006; Maluche-Baretta et al., 2006; Hu e Cao, 2007; Araújo et al., 2007; Lima et al., 2007b; Valarini et al., 2007; Mendes et al., 2009; Reganold et al., 2010; Papa et al., 2011.

A preocupação com os impactos ambientais, econômicos e sociais da agricultura convencional tem levado muitos agricultores a buscarem práticas alternativas para uma agricultura mais sustentável. Entre as alternativas estão os sistemas de produção orgânico e o biodinâmico, que pregam o uso de compostos orgânicos e esterco para melhorar a qualidade do solo, controle natural de pragas, rotação de culturas, diversidade de cultivos e animais, e a proibição do uso de fertilizantes sintéticos e agrotóxicos, entre outros. Estimulados a conhecer os efeitos do sistema biodinâmico de produção sobre as propriedades do solo, Reganold et al. (1993) compararam atributos de qualidade do solo durante quatro anos e a performance financeira, em pares (uma propriedade com adoção de sistema biodinâmico e a outra com sistema convencional, lado a lado) ou conjuntos (três propriedades rurais adjacentes, sendo uma com adoção de sistema biodinâmico e duas com sistema convencional). Os autores observaram neste estudo que as propriedades rurais com sistemas biodinâmicos apresentaram melhor qualidade do solo quando comparadas aos seus pares convencionais, principalmente quanto aos atributos físicos, biológicos e matéria orgânica. Constataram também que as propriedades com sistemas biodinâmicos foram, em sua maioria, as mais viáveis financeiramente, com as melhores margens brutas por hectare.

Em seu trabalho, Doran & Parkin (1994) colocam que um bom indicador de qualidade do solo deve atender aos seguintes critérios: elucidar processos do ecossistema e relacionar aos processos-modelo; integrar propriedades biológicas, físicas e químicas do solo e os respectivos processos; ser acessível a muitos usuários e aplicável a condições de campo; ser sensível a variações de manejo e de clima ao longo

do tempo; e, quando possível, ser componente de um banco de dados já existente. Com base nesses critérios, os autores propuseram um conjunto básico de indicadores de ordem biológica, física e química: textura, densidade do solo, profundidade de solo e de raízes, capacidade de armazenamento e retenção de água, infiltração de água no solo, conteúdo de água no solo, temperatura do solo, teores de C e N orgânico, pH, condutividade elétrica, teores de N mineral, P, K, C e N da biomassa microbiana, respiração do solo, N potencialmente mineralizável, C na biomassa em relação ao C orgânico total e respiração microbiana em relação à biomassa. Ainda de acordo com esses autores, os indicadores propostos devem ser relacionados a cinco funções do solo: habilidade de regular e compartimentalizar o fluxo de água; habilidade de regular e compartimentalizar o fluxo de elementos químicos; promover e sustentar o desenvolvimento de raízes; manter um habitat biológico adequado; e responder ao manejo, resistindo à degradação. São atribuídos, também, pesos aos atributos com base em considerações geográficas e socioeconômicas, e quanto à importância de cada um dos componentes de qualidade do solo estabelecidos pelos autores: produtividade, qualidade ambiental e saúde humana e animal.

Ainda não existe um consenso no meio científico quanto aos indicadores que devam ser utilizados para monitorar a qualidade do solo, nem mesmo sobre como interpretar tais indicadores. A dificuldade se torna ainda maior quando se tem uma grande diversidade de tipos de solos e de usos das terras (Schipper & Sparling, 2000).

Reconhecendo a importância de se ter métodos que possam ser aplicados para diversas classes de solos e de usos das terras, em diferentes regiões, e que ao mesmo possam ser acessíveis e internacionalmente aceitos, Schipper & Sparling (2000) propuseram um conjunto padrão de indicadores capaz de discriminar as práticas de manejo e fornecer informações sobre as condições do solo em escala nacional. Para isso, os dados foram submetidos à análise estatística multivariada por meio de Análise de Componentes Principais (ACP). Dos 16 indicadores originalmente avaliados, ficaram 6, os quais foram: N potencialmente mineralizável, pH, densidade do solo, C total, P disponível e macroporosidade.

Reganold et al. (2001) estudaram a sustentabilidade de três sistemas de produção de maçã, em Washington-DC, Estados Unidos, por meio da avaliação da qualidade do solo, da rentabilidade dos pomares, da qualidade ambiental e a eficiência energética de sistemas de produção orgânico, convencional e integrado entre os anos de 1994 e 1999. Os autores concluíram que a qualidade dos solos nos sistemas orgânico e integrado

foram significativamente superiores ao sistema convencional, em grande parte devido a adição de compostos orgânicos e cobertura vegetal no manejo realizado nos anos de 1994 e 1995. A matéria orgânica teve um grande impacto na qualidade do solo, melhorando a estrutura e a fertilidade do solo, e aumentando a infiltração e o armazenamento de água. O sistema convencional apresentou uma pobre habilidade para acomodar a entrada de água e para resistir à degradação da estrutura superficial, em função de não ter havido adição de material orgânico, obtendo baixo índice de qualidade do solo. O estudo permitiu concluir que o sistema orgânico foi o mais rentável, causou menor impacto ambiental e teve melhor eficiência energética.

A quantidade de análises disponíveis para avaliação dos solos e de recomendações de boas práticas existentes podem, na verdade, contribuir para gerar dilemas em termos de seleção e interpretação de manejos. Assim, Andrews et al. (2002a) propuseram um índice de qualidade do solo que auxilie na tomada de decisões, considerando um componente dentro de uma hierarquia de um agroecossistema sustentável, desde que não tenha como único foco de manejo sustentável a produtividade (Figura 1). Para a proposição desse índice, os autores compararam a opinião de especialistas (OE) e a análise de componentes principais (ACP), para um conjunto mínimo de indicadores. O estudo foi conduzido na Fazenda da Agronomia, da Universidade da Califórnia, Estados Unidos. Ao final, os autores concluíram que tanto o método da OE quanto o da ACP resultaram num conjunto mínimo de indicadores que foram igualmente representativos para avaliar as metas de manejo de produção sustentável dos sistemas de produção vegetais da fazenda. Entretanto, para adotar a ACP de modo que ele possa funcionar bem, é necessária uma grande quantidade de dados e de indicadores. Já a OE, requer um bom nível de conhecimento e podem estar sujeitos a parcialidades disciplinares. Em função dos resultados, os autores sugerem que um número menor de indicadores cuidadosamente escolhidos, submetidos à transformação não-linear e usando um índice simples, é capaz de fornecer adequadamente a informação necessária para a tomada de decisão.

Estudando o desempenho agrônômico e econômico, durante 21 anos, em propriedades rurais na Suíça sob sistemas de produção biodinâmico, bio-orgânico e convencional, Mäder et al. (2002) verificaram que os solos sob manejo orgânico apresentaram maior atividade biológica do que aqueles manejados convencionalmente, tendo como principais indicadores as enzimas desidrogenase, protease e a fosfatase. Entre os atributos físicos estudados, a estabilidade de agregados se destacou por ser

entre 10 a 60% maior para as áreas de manejo orgânico do que para as áreas convencionais. Segundo os autores, a eficiência produtiva dos sistemas orgânicos foi melhor, uma vez que a entrada de nutrientes (N, P e K) nesses sistemas foi de 34 a 51% menores do que nos sistemas convencionais, e a produtividade foi apenas 20% menor durante o período estudado. Também nos sistemas orgânicos, a energia necessária para produzir uma unidade de matéria seca foi entre 20 a 56% menor do que nos convencionais. Por fim, os autores concluíram que os sistemas orgânicos, cuja adubação é à base de leguminosas usadas na rotação de culturas e de outros fertilizantes orgânicos da própria fazenda, são uma alternativa para os sistemas de produção convencionais.

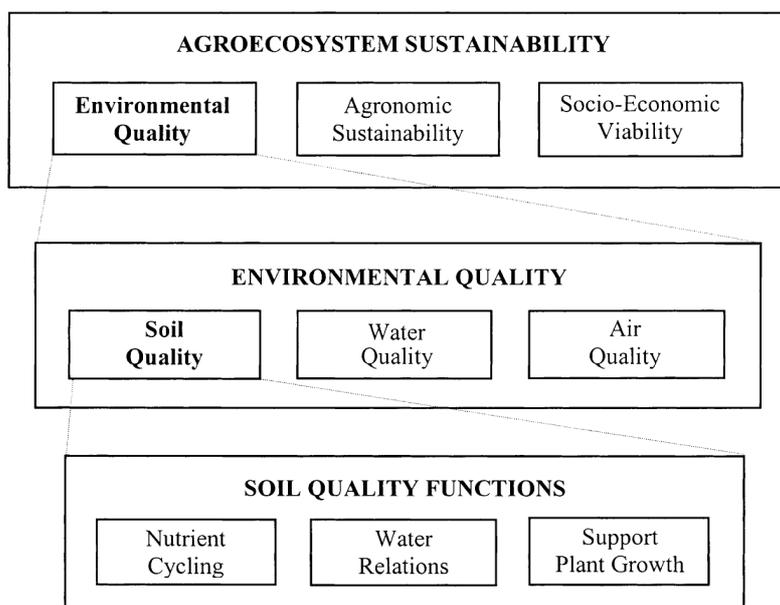


Figura 1. Hierarquia de um agroecossistema sustentável, mostrando a relação da qualidade do solo com o agroecossistema maior. (Fonte: Adaptado de Andrews et al., 2002a)

Doran (2002) recomenda em seu trabalho métodos e procedimentos simplificados para a avaliação da qualidade do solo, como modo de facilitar o acesso e o entendimento por parte dos produtores e de gestores agrícolas (Tabela-1). Segundo o autor, um dos grandes desafios dos pesquisadores está em “traduzir a ciência em prática” possibilitando a avaliação do desempenho econômico, ambiental e social por meio de indicadores que possam satisfazer as necessidades dos produtores rurais (produtividade, rentabilidade, estabilidade e viabilidade) e ao mesmo tempo atender às necessidades de conservação do solo e dos recursos hídricos. Em última análise, os indicadores de qualidade do solo e as estratégias de desenvolvimento sustentável, devem estar ligados ao desenvolvimento de sistemas de manejo que reduzam a entrada

de recursos não renováveis, mantenham níveis de produtividade aceitáveis e minimizem os impactos ambientais.

Tabela 1 – Estratégias para um manejo agrícola sustentável e proposta de indicadores para o desempenho do cultivo e para a saúde do solo e do meio ambiente (Fonte: Doran, 2002).

Estratégia de sustentabilidade	Indicadores aos produtores
Conservar a matéria orgânica do solo por meio da manutenção dos níveis de C e N, reduzindo o preparo do solo, reciclando compostos animais e vegetais, e/ou aumentando a diversidade de plantas, onde as entradas de C \geq as saídas de C	Alteração dos níveis de matéria orgânica com o tempo (visual ou por sensoriamento remoto ou por análise química); matéria orgânica potencial de acordo com o clima, solo e vegetação; retenção de água no solo
Minimizar a erosão do solo por meio de cultivos conservacionistas e pelo aumento dos cultivos de cobertura (resíduo, estabilidade de agregados, culturas de cobertura, pousio)	Visualização de ravinas, erosão laminar, poeira, etc. Propriedades superficiais do solo (profundidade do solo, conteúdo de matéria orgânica, textura, infiltração de água, escoamento superficial, % de cobertura)
Equilíbrio produtivo e ambiental, por meio de sistemas conservacionistas e de manejo integrados (otimizando o preparo do solo, os resíduos, a água e os produtos químicos usados) e pela sincronia da disponibilidade de N e P conforme a necessidade da cultura durante o ano	Características da cultura (produtividade, coloração, status nutricional, vigor das plantas e características das raízes, observados por meio visual ou por sensoriamento remoto) Condição física do solo/compactação Níveis de nitrato no solo e na água Quantidade e toxicidade dos agrotóxicos utilizados
Melhor uso dos recursos renováveis, por meio da menor dependência de combustíveis fósseis e de produtos derivados do petróleo, e maior dependência dos recursos renováveis e da biodiversidade (rotação de culturas, leguminosas, esterco, MIP, etc.)	Relação de Entradas/Saídas de custos e energia Perdas por lixiviação / acidificação do solo Características da cultura (como listados acima) Níveis de nitrato no solo e na água

Verifica-se que nas últimas décadas vários estudos têm tratado da seleção de critérios que sejam adequados para a avaliação da qualidade do solo. No entanto, os esforços têm sido limitados na determinação de limites-críticos para os indicadores de solo propostos. Em função disso, Arshad e Martin (2002) desenvolveram um guia que pode ser seguido para a identificação dos limites-críticos para os indicadores-chave de qualidade do solo, permitindo monitorar as mudanças e determinar tendências de melhoria ou deterioração da qualidade do solo para diversos ecossistemas. Os autores colocam que os limites-críticos variam para cada indicador, podendo para alguns deles o aumento ou a queda em 10% serem significativos, enquanto para outros, uma variação em 20% não traz nenhum efeito. Para a matéria orgânica, por exemplo, um aumento ou uma queda de 15% em relação à média ou em relação ao ponto de referência (*baseline value*) pode ser considerado um limite-crítico razoável.

Em seu trabalho, Nortcliff (2002) trata da importância da padronização dos métodos empregados nas análises de qualidade do solo. Ele coloca que, uma vez

definidos os atributos que servirão como indicadores de qualidade do solo, torna-se necessário garantir que os métodos de amostragem, de pré-tratamento e de análises selecionados sejam apropriados para a avaliação.

Entre os atributos de solo recomendados como indicadores de qualidade, a condutividade elétrica vem mostrando grande potencial. Isso ocorre, porque esse atributo tem se mostrado sensível na detecção de altos níveis de nutrientes, na determinação da salinidade dos solos e por ser capaz de estimar nutrientes solúveis, como o nitrato. Dessa maneira, objetivando determinar a eficiência agronômica e as conseqüências ambientais da fertilização com N, numa área com milho irrigado para silagem, Eigenberg et al. (2002) avaliaram diferentes doses de aplicação de composto orgânico, esterco, fertilizantes comerciais e culturas de cobertura, por meio de mapas de condutividade elétrica. Observaram que a condutividade elétrica identificou efeitos destes tratamentos nas mudanças dos níveis de N disponível antes, durante e depois da safra de milho. De acordo com os autores, a condutividade elétrica é, aparentemente, um indicador confiável dos ganhos e perdas de N solúveis no solo e pode servir como uma medida da suficiência de N para o milho durante a sua estação de crescimento.

A aplicação de indicadores de qualidade do solo em escalas regional e local requer o desenvolvimento de uma estratégia eficiente para a amostragem, que por sua vez requer informações da variabilidade espacial quanto a diferentes tipos de solos e de usos das terras. Dessa forma, Giltrap & Hewitt (2004) estimaram a variabilidade espacial de indicadores de qualidade do solo na Nova Zelândia por meio de dois estudos que ajudaram na construção de um plano com estratégias de amostragem. Os resultados do primeiro estudo demonstraram que deveria haver uma amostragem a cada 5 m ou mais para o pH, 30 m ou mais para P disponível e N mineralizável, e 100 m ou mais para C total, N total e relação C/N. Já os resultados do segundo estudo indicaram que para distâncias de amostragens de 29 m não houve efeito da ordem do solo sobre o coeficiente de variação, mas verificaram que houve efeito do tipo de uso, com as áreas cultivadas tendo os menores coeficientes de variação, seguidas das áreas de pastagens, florestas exóticas e florestas nativas.

A Nova Zelândia operou dois programas nacionais de monitoramento da qualidade do solo entre os anos de 1995 e 2001 para testar métodos e fornecer informações sobre a sustentabilidade dos usos das terras. Os programas ficaram popularmente conhecidos como “Projeto 500 Solos”, onde a intenção foi avaliar a qualidade do solo em 500 locais e em diferentes regiões da Nova Zelândia. Analisando

os pontos fortes e fracos desses programas, Sparling et al., 2004 estabeleceram as seguintes recomendações para monitoramento da qualidade do solo em escalas nacionais menores: pequeno número de indicadores de qualidade e de baixo-custo; modelo interpretativo robusto; métodos e amostragens padronizados; armazenamento centralizados de dados e amostras.

Ainda com relação às avaliações da qualidade do solo ocorridas em 1995 e 2001 na Nova Zelândia, Sparling & Schipper (2004) relatam em seu artigo a influência das práticas de manejo associadas com os usos das terras sobre os sete indicadores-chave de qualidade do solo: C total, N total, N mineralizável, pH, P disponível, densidade do solo e macroporosidade. Das 3.466 medidas realizadas em 511 áreas, 2.788 (80,4%) ficaram dentro do intervalo de referência e 678 (19,6%) ficaram fora do intervalo. As áreas que ficaram fora do intervalo foram examinadas de modo a identificar que características (acidez, redução a matéria orgânica, balanço nutricional e compactação do solo) estavam fora do intervalo desejável, para as quatro grandes categorias de uso: grandes culturas e horticultura, pastagens, floresta cultivada e floresta nativa. Observaram que para as áreas cultivadas com grandes culturas e horticultura, 14% apresentaram redução da matéria orgânica, 35% apresentaram problemas no balanço nutricional (excesso de P) e 24% apresentaram problemas com compactação do solo.

Avaliando os sistemas de produção convencional e plantio direto na região do Cerrado do Distrito Federal, com 8 e 10 anos de cultivo, Costa et al. (2006) verificaram que a qualidade do solo para ambos os sistemas foi similar. No entanto, a atividade biológica, medida por meio do carbono da biomassa microbiana e da respiração basal, foi maior no solo sob plantio direto, mostrando a sensibilidade desses atributos para detectar mudanças na qualidade do solo.

Avaliando a qualidade do solo em áreas sob Cerrado nativo e diferentes usos – pastagem natural, pastagem cultivada, cultivo convencional com culturas anuais e florestamento de pínus - Araújo et al. (2007) elaboraram um diagrama comparativo e calcularam um índice de qualidade do solo para cada tipo de uso. Os resultados evidenciaram relação estreita e inversa entre a qualidade do solo e a intensidade de uso a que as áreas foram submetidas. Verificaram também que, de modo geral, os atributos físicos, químicos e biológicos foram afetados em função dos tipos de uso das áreas, sendo os indicadores físicos os que refletiram melhor as diferenças de qualidade do solo entre as áreas. Os autores concluíram, também, que o índice de qualidade do solo (IQS),

obtido por meio do diagrama comparativo, permitiu distinguir ambientes sob diferentes usos.

Os indicadores físicos são apontados por Lima et al. (2007a) como sendo de grande relevância no monitoramento da qualidade do solo e na sustentabilidade agrícola. Entre os indicadores recomendados pelos autores estão: densidade do solo, estabilidade de agregados, porosidade total e resistência à penetração. Entretanto, os autores destacam a falta de consenso no meio científico quanto aos valores críticos ou de referência para esses indicadores.

II.1.1 – Qualidade do Solo e Manejo Sustentável em Sistemas de Produção Orgânico versus Sistema de Produção Convencional

Buscando identificar as diferenças entre os sistemas de produção convencional e orgânico de maçãs quanto aos atributos microbiológicos e químicos do solo, Maluche-Baretta et al. (2007) concluíram, entre outras coisas, que os atributos microbiológicos e químicos relacionados ao carbono foram mais sensíveis às variações entre os sistemas avaliados do que os relacionados ao nitrogênio. Também identificaram alta correlação canônica entre os atributos microbiológicos e químicos nos pomares, com destaque para o carbono da biomassa microbiana, entre os atributos biológicos, e para o pH em H₂O e alumínio, entre os atributos químicos.

Hu e Cao (2007) investigaram os efeitos de práticas de manejo sobre a biomassa microbiana, respiração microbiana e atividade enzimática do solo, bem como a correlação entre eles e outras propriedades físico-químicas do solo. Os tratamentos foram diferentes doses de compostos com microrganismos efetivos (EM), compostos tradicionais, fertilizantes químicos, além do controle sem adubação. Os resultados mostraram que o carbono da biomassa microbiana, respiração microbiana e a atividade enzimática (fosfatase alcalina e urease) foram significativamente maiores nos sistemas com compostagem do que nos sistemas com adubação química e controle. Os autores concluíram que o carbono da biomassa microbiana, a respiração microbiana e a atividade enzimática são importantes bioindicadores para avaliar a influência de diferentes práticas de manejo sobre a fertilidade e qualidade do solo.

Verifica-se que vários estudos já foram realizados comparando a qualidade do solo sob sistemas de produção orgânicos e convencionais. Porém, a maioria desses estudos não foi realizada em ambientes onde os solos são fortemente perturbados, como no caso dos sistemas encanteirados de morango. Tendo em vista a importância dessa

cultura para a Califórnia, que representa 89% do total produzido nos Estados Unidos, Reeve (2007) estudou propriedades rurais que produzem morango comercial, a fim de saber se o sistema orgânico com revolvimento intensivo do solo é capaz de conferir vantagens em termos de qualidade do solo quando comparado ao sistema convencional. O estudo foi conduzido por um período de dois anos em 13 áreas com sistema orgânico e convencional. As amostragens foram realizadas aleatoriamente nos canteiros nas profundidades de 0-10 cm e de 20-30 cm, respeitando um mínimo de 20 m das laterais para evitar os efeitos de borda. Foram analisadas propriedades biológicas e químicas de qualidade. Apesar da forte intervenção mecânica para o preparo do solo e construção dos canteiros, seja no sistema orgânico ou no convencional, o autor verificou que para todas as datas de amostragens na profundidade até 10 cm, os solos sob manejo orgânico apresentaram entre 18-28% mais C total e entre 23-29% N total. Essas diferenças também foram observadas na profundidade de 20-30 cm, embora tenham sido menos pronunciadas. O autor também verificou que a biomassa microbiana e a atividade enzimática, medida a partir da desidrogenase, fosfatase ácida e alcalina, foram significativamente maiores nos solos com manejo orgânico. Em função dos resultados, o autor concluiu que as práticas de manejo orgânico são benéficas em termos de qualidade do solo, mesmo havendo um intensivo revolvimento de solo.

Realizando a análise integrada de indicadores edafobiológicos em sistemas de produção orgânico e convencional de tomate, Valarini et al. (2007) observaram maior capacidade de campo e menor teor de argila dispersa em solos sob sistema orgânico, enquanto no sistema convencional ficou evidenciado a alta disponibilidade de sais solúveis em função da elevada condutividade elétrica. Observaram também que o sistema orgânico proporcionou maior diversidade microbiana no solo, disponibilidade de nutrientes, melhoria da estrutura e da fertilidade do solo.

Determinados a conhecer os efeitos dos sistemas orgânicos e convencionais de produção, Reganold et al. (2010) compararam 13 pares de propriedades com produção de morango em sistemas de produção orgânico e convencional, a fim de saber se há diferenças significativas no teor de nutrientes contidos nos frutos e na qualidade do solo. Foram avaliadas três variedades de morango, sendo as amostragens realizadas em dois anos. Para avaliar a qualidade do solo, foram realizadas coletas superficiais (0-10 cm) e subsuperficiais (20-30 cm) sobre os canteiros de produção. Os autores verificaram que as propriedades orgânicas apresentaram maiores teores de carbono total (matéria orgânica), nitrogênio total, biomassa microbiana, atividade biológica (enzimática) e

concentrações de micronutrientes, diferindo significativamente dos resultados obtidos para as propriedades convencionais. Além de concluírem que as propriedades com adoção de sistemas de produção orgânicos apresentam melhor qualidade do solo, mostraram que os frutos de morango produzidos nessas propriedades têm maior qualidade nutricional. No entanto, recomendam que investigações adicionais sejam feitas para detectar e quantificar tais efeitos e suas interações.

Valarini et al. (2011) avaliaram a qualidade do solo em pequenas propriedades familiares de produção de hortaliças conduzidas sob sistemas de produção orgânico e convencional, mediante a análise integrada de atributos físicos, químicos e biológicos, e concluíram que, de maneira geral, as práticas agrícolas utilizadas na maioria das propriedades orgânicas e convencionais favoreceram a degradação do solo, devida principalmente ao revolvimento intensivo e à ausência de cobertura do solo. Os autores observaram reduções nos teores de matéria orgânica do solo, da biomassa microbiana, da emergência de plântulas e da estabilidade de agregados nas áreas de cultivo em relação às testemunhas.

II.2 – Indicadores de Qualidade do Solo

O IBGE (2010) define indicadores como sendo ferramentas constituídas por uma ou mais variáveis que, associadas por meio de várias formas, revelam significados mais amplos sobre os fenômenos aos quais se referem. Além de não considerá-lo como o fim em si mesmo, segundo o IBGE (2010) os indicadores valem mais pelo que apontam do que pelo seu valor absoluto e são mais úteis quando analisados em seu conjunto ao invés de serem analisados individualmente.

De acordo Rao e Rogers (2006), indicadores informam o estado de funcionamento de um sistema, seja ele uma máquina, um ser humano, um ecossistema ou uma cidade.

Indicadores de qualidade do solo se referem aos atributos mensuráveis que influenciam na capacidade dos solos, tanto para a manutenção da produção agrícola, como para cumprir as funções ambientais (Arshad e Martin, 2002). Os critérios para seleção destes devem se relacionar, sobretudo, com a sua utilidade em explicar os processos de um ecossistema, integrar as propriedades físicas, químicas e biológicas, ser sensível ao manejo e às variações climáticas e ser útil e acessível aos especialistas em agricultura, produtores, ambientalistas e gestores públicos (Doran e Parkin, 1996).

Para o Instituto de Qualidade do Solo (Soil Quality Institute) do USDA (2001), os indicadores de qualidade do solo devem atender aos seguintes requisitos:

- Ser de fácil mensuração;
- Capaz de medir as alterações nas funções do solo;
- Ser avaliados numa quantidade razoável de tempo;
- Acessível a vários usuários e aplicável em diversas condições de campo;
- Sensível às variações de clima e de manejo;
- Representar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo;
- Avaliados por métodos qualitativos e/ou quantitativos.

Tendo em vista os critérios apresentados anteriormente, verifica-se que, estão entre os indicadores mais amplamente utilizados na literatura: densidade do solo, estabilidade de agregados, matéria orgânica, capacidade de troca catiônica, condutividade elétrica e atividade enzimática (Reganold et al., 1993; Glover et al., 2000; Reganold et al., 2001; Andrews et al., 2002; Bertol et al., 2004; Conceição et al., 2005; Goedert, 2005; Costa et al., 2006; Araújo et al., 2007; Araújo e Monteiro, 2007; Valarini et al., 2007; Balota & Chaves, 2010; Reganold et al., 2010; Papa et al., 2011).

II.2.1 - Físicos

II.2.1.1 – Densidade do Solo

A densidade do solo (D_s) é um indicador indireto de compactação do solo. Ele é calculado por meio do peso seco do solo dividido pelo volume, sendo este último composto por partículas (orgânicas e inorgânicas) e por poros entre as partículas.

A densidade do solo é dependente da textura, da densidade de partícula, da matéria orgânica e do arranjo das partículas no solo. Geralmente, aqueles solos porosos e ricos em matéria orgânica apresentam baixa densidade. Também os solos de textura mais fina, como os argilosos, geralmente apresentam densidade mais baixa do que solos de textura mais grosseira, como os arenosos, em função principalmente da maior porosidade e da boa estruturação dos primeiros (Brady & Weil, 2008; USDA, 2008b).

Em função da sua dinâmica, a densidade do solo é alterada por práticas de manejo que interferem na cobertura do solo, na matéria orgânica, na estrutura do solo e na porosidade. O preparo do solo, por exemplo, pode destruir a matéria orgânica e enfraquecer a estabilidade natural dos seus agregados, tornando-o suscetível aos danos causados pela água e pelo vento. Além disso, a desagregação favorece o entupimento

dos poros pelas partículas do solo, reduzindo assim sua porosidade e aumentando a densidade (USDA, 2008b).

A densidade do solo reflete uma série de funções exercidas pelo solo, como o suporte estrutural, o movimento de água e solutos e a aeração. Por meio desse atributo é possível saber se há alguma camada de impedimento e o grau de compactação do solo, que possa restringir o desenvolvimento radicular das plantas e o fluxo de água e ar. Como consequência da compactação, pode haver redução na produtividade da cultura e menor produção de biomassa para a proteção do solo contra a erosão (Goedert et al., 2002).

Comparando sistema orgânico e convencional de produção de algodão no semi-árido cearense, Lima et al. (2007b) não verificaram diferenças estatísticas quanto à densidade do solo nas áreas estudadas.

Estudando diferentes tipos de uso do solo e de manejo, Schipper e Sparling (2000) observaram que a maior densidade do solo ocorreu naquelas áreas cultivadas por um longo período de tempo com grãos e/ou hortaliças.

Avaliando a qualidade do solo sob sistema de cultivo convencional e direto, Costa et al. (2006) obtiveram valores de densidade variando entre 0,92 e 1,08 g cm⁻³ para todas as profundidades avaliadas, sendo considerados normais para Latossolos argilosos. Embora não tenham observado diferença significativa entre os sistemas de cultivo, a Ds foi afetada de modo similar, nas profundidades de 10-20 cm e de 20-30 cm, onde foram observados valores mais altos, provavelmente, em função do menor conteúdo de matéria orgânica e do acúmulo de pressões exercidas pelo tráfego de implementos nestas camadas.

Relatando resultados de 21 anos de estudos na Suíça, Mäder et al. (2002) não verificaram diferenças para a densidade do solo entre os sistemas de produção biodinâmico, bio-orgânico e convencional.

Com o objetivo de estudar a compactação do solo em duas áreas de lavoura (rotação de soja e milho) no Distrito Federal submetidas ao sistema de plantio direto durante longo período de tempo, Goedert et al. (2002) verificaram que nenhuma das áreas avaliadas apresentou valores de densidade do solo acima do nível crítico. Nesse estudo, os valores de densidade do solo variaram entre 0,78 kg dm⁻³ a 0,92 kg dm⁻³, o que revela, mesmo que de forma indireta, a inexistência de compactação.

Para a cultura do morango, estabelecida em gleissolos na Nova Zelândia, Sparling (2009) encontrou o valor de $1,18 \text{ Mg m}^{-3}$, o que é considerado normal por estar dentro intervalo crítico definido para a região para esta classe de solo.

Embora o uso intensivo do solo possa comprometer alguns atributos físicos do solo, isso nem sempre acontece. Em seu estudo, Pereira et al. (2010) concluíram que a densidade do solo foi menor tanto para o plantio convencional como para a semeadura direta de milho com cobertura de crotalária (*Crotalaria juncea* L.), não diferenciando, portanto, esses dois sistemas de produção para esse atributo.

Avaliando a qualidade do solo, num Latossolo Vermelho-Amarelo, sob sistema orgânico de cultivo, com diferentes tempos de uso, Morris (2007) encontrou valores médios de densidade do solo variando entre $0,75$ e $1,10 \text{ g cm}^{-3}$ e verificaram variações significativas para a mesma profundidade (0-15 cm) entre os diferentes tempos de uso.

Comparando cinco sistemas de manejo do solo com o cerrado nativo, por meio de indicadores físicos de qualidade, Silva et al. (2005) observaram que a densidade do solo aumentou apenas para dois deles: cultivo convencional com batata sucedido por aveia em rotação com milho (CCBAM) e plantio direto com milho (PDM). Os autores colocam que esse comportamento no primeiro sistema (CCBAM) pode ser explicado pela desagregação intensiva com um sucessivo empacotamento das partículas do solo, decorrente de um uso intenso de máquinas e implementos agrícolas em condições muitas vezes inadequadas de umidade do solo. Já no segundo sistema (PDM), colocam que pode ser explicado, tanto pela acomodação das partículas do solo após sua implantação, como pelo tráfego de máquinas pesadas nas operações de plantio e colheita.

Avaliando a qualidade do solo em área sob diferentes usos, Araújo et al. (2007) constataram valores mais elevados de D_s nas áreas sob pastagem plantada e cultivo convencional, entretanto, observaram que esses valores estão abaixo daqueles considerados limitantes.

Verifica-se no Brasil que, a densidade do solo está entre os atributos físicos mais usados nos estudos para avaliar a qualidade do solo (Goedert, 2005).

II.2.1.2 – Estabilidade de agregados

A estrutura do solo é um fator chave no funcionamento do solo e na avaliação da sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola.

É considerado fator chave dada a sua capacidade de reter e transmitir líquidos e substâncias orgânicas e inorgânicas, sustentar o crescimento de raízes e permitir a difusão de gases, especialmente oxigênio e dióxido de carbono (Verhulst et al., 2010)

A estrutura do solo é geralmente expressa como o grau de estabilidade dos agregados (Bronick & Lal, 2005), que por sua vez se refere à capacidade dos agregados do solo de resistir à desintegração quando submetidos a diferentes situações de estresse associadas ao preparo do solo e à erosão hídrica ou eólica (USDA, 2008a).

A agregação se refere à ligação entre as partículas primárias do solo, resultante da ação de agentes cimentantes e de forças coesivas. Sua estabilidade estrutural será maior quanto maior forem os teores dos agentes cimentantes, como a matéria orgânica, hidróxidos de ferro e alumínio, cátions bi e trivalentes, e minerais de argila (Bronick & Lal, 2005; Lima et al., 2007a; USDA, 2008a; Silva, 2010). Como as taxas de erodibilidade dos solos dependem, entre outros fatores, da estabilidade de agregados, a medida desse atributo torna-se muito importante nos estudos de qualidade do solo.

O efeito mais nocivo sobre os agregados do solo é atribuído aos sistemas de manejo que adotam revolvimento intensivo do solo, que podem provocar a distúrbios nos agregados, além de afetar o teor de matéria orgânica, um dos principais agentes de formação e estabilização dos agregados (USDA, 2008a).

Em estudo conduzido em áreas de Latossolo Vermelho-Amarelo, Silva et al. (2005) verificaram que os sistemas convencionais de cultivo com pouco tempo de implantação não alteraram a estabilidade de agregados o suficiente para diferir do cerrado nativo, enquanto os sistemas de plantio direto e florestal, com menor revolvimento dos solos, encontram-se estabelecendo uma nova condição de equilíbrio. A provável explicação para a estabilidade dos agregados nos sistemas convencionais, que praticam revolvimento dos solos, não ter diferido da dos solos sob condição natural (cerrado nativo) seria tanto o pouco tempo de cultivo, como o grande aporte de carbono orgânico, oriundo do desmatamento do cerrado. Já nos sistemas de plantio direto e florestal (ambos com longo tempo de cultivo), a provável explicação está relacionada ao não revolvimento do solo nos últimos anos, ao acúmulo de carbono orgânico (palhada) e também da capacidade agregante do sistema radicular da gramínea consorciada (*Brachiaria brizantha*).

Enquanto isso, Wendling et al. (2005) investigaram a influência em diferentes sistemas de manejo sobre o teor de carbono orgânico e na estabilidade de agregados dos solos. Verificaram que os tratamentos com solos cultivados reduzem a estabilidade de

agregados em água, quando comparados à mata nativa. Constataram, também, que sob plantio direto, os solos apresentam acréscimo nos índices de agregação em relação aos solos sob plantio convencional; a gramínea perene tifton se constitui numa opção para formação e estabilização de agregados; e o carbono orgânico apresenta uma boa correlação com os índices de estabilidade de agregados. Aratani et al. (2009) também observaram o efeito positivo do sistema de plantio direto nos índices de agregação dos solos, mostrando a importância do menor revolvimento desses para aumentar a resistência aos processos erosivos, em detrimento do revolvimento excessivo muitas vezes praticado no plantio convencional, com consequente redução do conteúdo de matéria orgânica.

Avaliando a qualidade do solo em quatro áreas comerciais sob cultivo orgânico com tempos de uso de 1, 4, 7 e 10 anos, Morris (2007) não observou variação significativa para a estabilidade de agregados, tanto entre as áreas, como entre profundidades. O autor destaca que, mesmo havendo a utilização de enxada rotativa, o que resultaria numa maior pulverização do solo, há uma elevada estabilidade de agregados em todas as áreas. Segundo o autor, isso pode ter ocorrido em função da aplicação e incorporação constante de matéria orgânica nessas áreas.

Dos indicadores físicos avaliados, Lima et al. (2007b) constataram que apenas a estabilidade de agregados foi diferente entre as áreas avaliadas, sendo maior nas áreas cultivadas em bases orgânicas. Os autores justificam que a adição de resíduos orgânicos e a diminuição no revolvimento do solo podem ter contribuído para essa diferença.

Sistemas de manejo que adotam rotação de culturas e diversidade de espécies cultivadas têm mostrado efeitos positivos sobre indicadores de qualidade do solo, entre os quais está a estabilidade de agregados (Karlen et al., 2006). A estabilidade de agregados também é considerada pelo Serviço de Conservação de Recursos Naturais (NRCS – Natural Resources Conservation Service) como um dos mais importantes indicadores físicos de qualidade do solo (USDA, 2008c).

II.2.2 – Químicos

II.2.2.1 – Matéria Orgânica do Solo

A matéria orgânica do solo (ou carbono orgânico) tem sido proposta como indicador primário da qualidade do solo, especialmente por se concentrar na superfície do solo, por onde entra diversos insumos agrícolas (sementes, fertilizantes, agrotóxicos) e por ser essa camada a mais afetada pelo impacto das chuvas e por controlar o fluxo de

gases que entram e saem do solo. A matéria orgânica superficial é essencial para o controle da erosão, da infiltração da água e conservação dos nutrientes (Verhulst et al., 2010).

A matéria orgânica tem sido considerada como um atributo-chave indicador de qualidade do solo, uma vez que é sensível a modificações pelo manejo do solo, além de ser fonte primária de nutrientes às plantas, influenciar a infiltração, retenção de água e suscetibilidade à erosão, (Vezzani e Mielniczuk, 2009; Conceição et al., 2005; Doran, 2002; Gregorich et al., 1994). Por haver um predomínio de argilas de baixa atividade (argilas 1:1, especialmente a caulinita) nos solos tropicais, a matéria orgânica humificada, também exerce papel decisivo no aumento da capacidade de troca de cátions (CTC) nesses solos (Primavesi, 2002). Sousa e Lobato (2004) relatam que a baixa CTC dos Latossolos do cerrado pode ser melhorada adotando-se práticas de manejo que promovam a elevação dos teores de matéria orgânica do solo, uma vez que a CTC depende essencialmente dela.

A matéria orgânica é composta por materiais ricos em carbono oriundos de resíduos de plantas, animais e microrganismos em vários estágios de decomposição (USDA, 2001). Esse carbono orgânico do solo pode ser distinguido nas seguintes frações: aquela de fácil decomposição (lábil), que representa o estágio inicial do processo de humificação; aquela estabilizada por mecanismos físico-químicos (intermediária); e aquela recalitrada bioquimicamente (estável) (Hermle et al., 2008). Embora a fração lábil, analisada principalmente por meio da matéria orgânica particulada, tem sido apontada em alguns trabalhos como a de maior sensibilidade (Figueiredo et al., 2010; Conceição et al., 2005), o C orgânico total continua sendo muito usual nos estudos de qualidade do solo (Gregorich et al., 1994; Reganold et al., 2001; Andrews et al., 2002a, b; Conceição et al., 2005; Wendeling et al., 2005; Costa et al., 2006; Karlen et al., 2006; Maluche-Baretta et al., 2006; Araújo et al., 2007; Reganold et al., 2010;).

Gregorich et al. (1994) relata em sua revisão que a matéria orgânica é caracterizada por abranger uma série de atributos capaz de explicar vários processos do solo, como a reserva de nutrientes, atividade biológica e estrutura do solo.

Avaliando sistemas de manejo orgânico e convencional na Califórnia, Andrews et al. (2002a, b) verificaram, por meio de análise de componentes principais (ACP), que a matéria orgânica poderia compor um conjunto mínimo de indicadores de qualidade do solo em função da sua sensibilidade às práticas de manejo, mesmo sob diferentes tipos

de solo e escalas de produção. Também constataram que o teor de matéria orgânica foi significativamente superior nas áreas orgânicas em relação às áreas convencionais.

Wendling et al. (2005) relataram que o carbono orgânico total (COT) dos solos não foi influenciado pela profundidade em sistema convencional com soja por quatro anos, sendo isso uma consequência do revolvimento do solo. Verificaram comportamento semelhante para o tratamento com plantio direto de soja por três anos, seguido pela gramínea tifton, mas nesse caso a explicação estaria no sistema radicular bastante agressivo e profundo da tifton. Ainda com base nesse estudo, os autores concluíram que o carbono orgânico apresenta boa correlação com os índices de estabilidade de agregados.

Já Costa et al. (2006) verificaram diferença em profundidade quanto ao teor de matéria orgânica dos solos em sistema de plantio direto (SPD), com maior teor na profundidade de 0-10 cm, enquanto que os solos sob o sistema convencional (SPC) não observaram diferença. As justificativas para tal comportamento estão na manutenção dos restos vegetais na superfície do solo sob SPD e na incorporação no SPC.

Karlen et al. (2006) estudaram o efeito da rotação de culturas sobre a qualidade do solo e verificaram que houve um efeito negativo do cultivo contínuo de milho sobre diversos atributos do solo, entre os quais o carbono orgânico total. Os melhores índices de qualidade do solo foram obtidos para as culturas de milho e soja em rotação há pelo menos 3 anos com forrageiras. Baseado neste estudo, os autores concluíram que quanto mais diverso e maior o tempo de rotação, melhor será sustentabilidade da agricultura.

Avaliando a qualidade do solo em Latossolo Vermelho-Amarelo de cerrado sob ocupação de pastagem natural, pastagem cultivada, cultivo convencional com culturas anuais e reflorestamento de pínus, Araújo et al. (2007) verificaram diferenças significativas para a matéria orgânica apenas na profundidade de 0-5 cm, sendo os valores mais elevados registrados para as áreas de pastagens e Cerrado, ficando a de reflorestamento de pínus num patamar intermediário e a de cultivo convencional com os menores valores. Semelhante ao que foi colocado nos estudos apresentados anteriormente, os baixos valores de matéria orgânica encontrados para as áreas sob cultivo convencional deve ser reflexo do revolvimento contínuo do solo, que favorece a decomposição do material orgânico.

Aplicando a ferramenta de análise integrada de indicadores edafobiológicos em áreas sob sistemas de produção orgânico e convencional de tomateiro no estado de São Paulo, por meio de análise de componentes principais (ACP), Valarini et al. (2007)

constatarem, entre outros atributos avaliados, que o carbono orgânico total estão positivamente relacionados com o sistema orgânico.

Verifica-se em alguns estudos que o teor de matéria orgânica, medida a partir do carbono orgânico total, é pouco afetado pelo manejo e pelo tempo de uso (Carneiro et al., 2009; Pignataro Netto et al., 2009), enquanto que em outros trabalhos o carbono orgânico total se mostra como o mais adequado para evidenciar diferenças entre os sistemas de uso do solo (Fontana et al., 2011).

Gliessman et al. (1996) conduziram um experimento por três anos seguidos com sistemas de produção orgânico e convencional de morango, na Califórnia, e constataram que o conteúdo de matéria orgânica foi significativamente maior no terceiro ano para o sistema orgânico, possivelmente em função do uso de adubos orgânicos.

Em estudo conduzido com sistemas de produção orgânicos e convencionais de morango em unidades produtivas da Califórnia, Reeve (2007) verificou que o carbono orgânico total foi significativamente superior nos solos sob manejo orgânico, tanto na profundidade de 0-10 cm como na de 20-30 cm.

II.2.2.2 – Capacidade de Troca Catiônica

À medida que os solos são formados, durante os processos de intemperização, alguns minerais e a matéria orgânica são reduzidos à partículas extremamente pequenas. Alterações químicas diminuem ainda mais estas partículas até o ponto em que elas não podem mais ser vistas a olho nu. Estas partículas são denominadas de colóides (ANDA, 2004).

Mesmo sendo capazes de desenvolver cargas positivas, em geral, os colóides apresentam um balanço de cargas negativas, o que resulta, para a maioria dos solos, o predomínio de troca de cátions (Raij, 1991). Assim, a quantidade total de cátions trocáveis que um solo pode reter é chamada de capacidade de troca catiônica (CTC).

Segundo Raij (1991), os materiais responsáveis pela troca de íons em solos são a matéria orgânica, os minerais de argila, os óxidos de ferro e alumínio, e os silicatos de alumínio amorfos (alofanas), sendo que, nos solos do Cerrado, a matéria orgânica pode contribuir com até 88% da CTC (Sousa & Lobato, 2004).

A capacidade de troca de cátions (CTC) é uma das principais formas de inferir a fertilidade do solo, pois evidencia a habilidade do solo de reter e trocar íons positivamente carregados na superfície coloidal.

Costa et al. (2006) verificaram que, tanto em sistemas de cultivo convencional como no direto, a CTC variou de 9,6 a 11,0 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na camada de 0-10 cm, e de 9,0 a 10,2 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na de 10-20 cm, situando-se próximo a 10,0 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, valor considerado como sustentável para Latossolos de textura argilosa da região tropical do Brasil (Goedert, 2005). Não foram detectadas diferenças da CTC entre as profundidades no sistema convencional.

A matéria orgânica exerce grande influência na CTC dos solos tropicais, mas a depender do tipo de matéria orgânica aplicada e do tempo de manejo conservacionista, como o orgânico, pode não ocorrer alteração da capacidade do solo em reter cátions (Lima et al., 2007b). Pignataro Netto et al. (2009) também verificaram que a CTC foi pouco afetada pelo manejo e pelo tempo de uso de diferentes espécies de gramíneas, embora tenham constatado diferença estatística entre *Andropogon gayanus* e as demais. Os autores também relatam que a maior quantidade da matéria orgânica na superfície pode ter contribuído para a ocorrência de uma CTC maior na camada de 0-5 cm em relação à de 5-20 cm.

Estudando a qualidade do solo sob diferentes usos em Latossolo Vermelho-Amarelo no DF, Araújo et al. (2007) encontraram resultados superiores de CTC apenas na profundidade superior (0-5 cm) para as áreas de Cerrado nativo e pastagem natural. Ao contrário das demais, a área sob cultivo convencional foi a única que não mostrou alterações significativas da CTC entre as profundidades, possivelmente devido à homogeneização das camadas pelo revolvimento anual do solo.

Conduzindo estudo na Nova Zelândia sobre qualidade do solo em propriedades sob sistema de produção biodinâmico e convencional, Reganold et al. (1993) constataram que, em geral, a CTC foi superior nas áreas com sistema biodinâmico. Já Glover et al. (2000) não encontrou diferenças significativas da CTC entre sistemas de manejo convencional, integrado e orgânico em pomares de maçã.

II.2.2.3 – Condutividade Elétrica

A salinização do solo é um problema recorrente principalmente em regiões semiáridas, como no Nordeste brasileiro, onde a evaporação supera a precipitação. Mas, verifica-se que a salinidade pode ocorrer em outras regiões como consequência de fatores como o excesso de fertilização, o uso de água salina e a ausência de drenagem adequada, que podem favorecer a degradação do solo (Silva et al., 2008)

Entre os efeitos adversos causado pelo excesso de sais no solo está a redução do potencial osmótico deste e a toxidez às plantas. Como consequência desse estresse, pode haver redução do desenvolvimento das plantas, por afetar diversos mecanismos metabólicos e fisiológicos importantes, comprometendo o rendimento e a qualidade da produção, principalmente daquelas culturas consideradas mais sensíveis, como o morango (Karlidag et al., 2009).

A baixa tolerância do morango e de outras culturas à salinidade do solo também é relatada pelo Departamento de Agricultura e Desenvolvimento Rural de Alberta, no Canadá (Government of Alberta, 2011) e pela FAO (2002). Esta última informa, com base em critério de produtividade, que a condutividade elétrica do solo crítica para o morango é a partir de 1,0 dS/m, ou seja, valores acima desse limiar pode reduzir o potencial produtivo dessa cultura.

Assim, a condutividade elétrica (CE) é um indicador muito usual de qualidade do solo (Arshad e Martin, 2002), presente inclusive no kit de teste de qualidade do solo (Soil Quality Kit) desenvolvido pelo Serviço Nacional de Conservação de Recursos Naturais dos Estados Unidos (USDA, 2001).

Rhoades & Oster (1986) consideram que o monitoramento dos íons no solo é uma das principais ferramentas no manejo da fertirrigação e tem sido realizado com base em amostragens de solo ou de solução do solo, por meio de extratores.

Além de estar associada à determinação da salinidade dos solos, a condutividade elétrica também pode servir para mensurar os nutrientes solúveis presentes nestes (Smith & Doran, 1996).

A mensuração da condutividade elétrica do solo durante a aplicação de fertilizantes e após a colheita é indicada por Doran (2002) para avaliar a sustentabilidade das práticas de manejo agrícola.

Saied et al. (2005) investigaram o efeito da salinidade do NaCl, cujas soluções aquosas foram caracterizadas por três níveis de condutividade elétrica (0,3 dS/m, 2,6 dS/m e 5,1 dS/m) nas cultivares de morango “Elsanta” e “Korona”, e verificaram que a salinidade na rizosfera reduziu o crescimento das plantas em 90% e 44%, respectivamente. O estresse salino também fez reduzir a produtividade em 27% na “Korona” e 64% na “Elsanta”.

A falta de resultados científicos envolvendo a tolerância das culturas sobre a salinização ocasionada pelo excesso de fertilizantes, fez com que Medeiros et al. (2009) avaliassem a cultura do pepino conduzida sobre condição salina proveniente de sais

fertilizantes, com o manejo da fertirrigação, visando ao controle da salinidade do solo em seis níveis iniciais de salinidade (1,5, 2,5, 3,5, 4,5, 5,5 e 6,5 dS/m). Entre os principais resultados, verificaram que a produtividade máxima foi atingida para o nível de salinidade 3,5 dS/m e que após o ponto limiar (4,08 dS/m) a produtividade caía 19,33% por dS/m, para cada aumento de uma unidade de salinidade do solo.

O desenvolvimento de sistemas de manejo sustentável depende, em parte, da habilidade para se fazer o melhor uso de recursos renováveis, como o esterco de animais, e sincronizar os níveis de N disponível, conforme a necessidade das plantas. Tendo isso em vista, Eigenberg et al. (2002) monitoraram a condição do solo por meio da condutividade elétrica e verificaram que esta foi capaz de identificar a dinâmica da disponibilidade de N oriundo de esterco e fertilizantes, e que o uso de culturas de cobertura (*Secale cereale* L.) foram capazes de minimizar o níveis de N antes e após o cultivo do milho.

Andrews et al. (2004) verificaram que a condutividade elétrica foi um dos indicadores selecionados para fazer parte de um modelo para avaliar a qualidade do solo sob diferentes sistemas de manejo, porque foi capaz de explicar algumas funções do solo. Mais tarde, Zobeck et al. (2008) também lançaram mão do uso da condutividade elétrica para compor a lista de indicadores usados para comparar, por meio de diversos sistemas de produção de grãos, o modelo proposto por Andrews et al. (2004) com um outro índice de qualidade do solo.

Glover et al. (2000) não encontraram diferenças significativas para a CE entre os sistemas de produção orgânico e convencional de maçãs. No entanto, verificaram que o sistema de produção integrado apresentou CE significativamente superior aos demais sistemas (orgânico e convencional) para as amostras superficiais. Apesar das diferenças estatísticas, os autores não observaram efeitos prejudiciais sobre o crescimento ou produtividade das macieiras para o sistema integrado, até porque a CE não atingiu o valor crítico considerado que foi de 1,0 dS/m. Por fim, após integrar esse e outros parâmetros num índice de qualidade do solo (QS), os autores concluíram que a QS no sistema orgânico não diferiu dos demais (integrado e convencional) e o sistema integrado obteve o maior índice de qualidade do solo.

Estudando os efeitos do cultivo contínuo de morango e de sete diferentes espécies para rotação de culturas sobre algumas características do solo, Portz (2008) verificou que, comparado às demais, a CE foi superior nas parcelas sob cultivo contínuo

de morango, tendo os valores variados de 157 a 290 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (0,157 a 0,290 dS/m), considerados, segundo o autor, moderado a adequado para a cultura do morango.

II.2.3 – Biológico

II.2.3.1 – Atividade Enzimática

As enzimas do solo têm um papel essencial no sentido de catalisar as reações necessárias para a decomposição da matéria orgânica (ligninases, celulasas, proteases, glucosidases e galactosidases) e a ciclagem de nutrientes (fostases, amidases, uréase e sulfatases). Elas também estão envolvidas na transferência de energia, na qualidade ambiental e na produtividade das culturas (Dick, 1994; Tabatabai, 1994).

As enzimas do solo são proteínas que são sintetizadas durante o metabolismo de plantas e organismos que vivem no solo, podendo ser encontradas tanto em células vivas (enzimas biônticas), quanto em células mortas de tecidos de plantas e dos organismos que habitam o solo, ou, ainda, complexadas nos colóides orgânicos e minerais (enzimas abiônticas) (Dick, 1994).

A atividade enzimática de um solo é o resultado do somatório da atividade enzimática dos organismos vivos (plantas, microrganismos e animais) e das enzimas abiônticas (Mendes et al., 2009).

Entre as enzimas mais utilizadas para avaliar a atividade enzimática dos solos estão a beta-glicosidase e a fosfatase ácida. A primeira é responsável por atuar na etapa final do processo de decomposição da celulose, pela hidrolisação dos resíduos de celobiose (Tabatabai, 1994), enquanto a segunda atua no ciclo do P, mineralizando o P-orgânico (Dick & Tabatabai, 1993).

Alguns trabalhos chamam a atenção para possíveis influências de alguns atributos do solo, como a quantidade de C orgânico e o pH, sobre a atividade de determinadas enzimas, entre elas a fosfatase ácida e a beta-glicosidase (Acosta-Martinez & Tabatabai, 2000; Makoi & Ndakidemi, 2008).

Por ser capaz de indicar a intensidade de alguns processos bioquímicos, estar estreitamente relacionada com a atividade biológica e apresentar respostas rápidas às mudanças de manejo do solo (Dick, 1994), a atividade enzimática tem sido proposta como um dos principais indicadores da atividade biológica e da qualidade do solo (Dick et al., 1996; Karlen et al., 1997; Matsuoka et al., 2003; Chaer & Tótola, 2007).

Realizando ensaios de longa duração na Europa, Mäder et al. (2002) encontraram maior atividade da fosfatase ácida e de outras enzimas em áreas sob

sistema orgânico de produção do que em sistemas convencionais. Segundo os autores, esses resultados indicam uma elevada atividade microbiológica, bem como uma elevada capacidade em clivar proteínas e fósforo orgânico no sistema orgânico.

Balota & Chaves (2010) verificaram que o cultivo intercalar da leucena (*Leucaena leucocephala*) na cultura do cafeeiro aumentou a atividade da fosfatase ácida tanto na projeção da copa como na entrelinha.

Em estudo conduzido para avaliar alguns indicadores de processos bioquímicos e microbianos de solo após a aplicação de composto orgânico produzido a partir de resíduos domésticos, Vinhal-Freitas et al. (2010) verificaram que as enzimas beta-glicosidase e as fosfatases (ácida e alcalina) foram fortemente influenciadas pela adição do composto, sobretudo pela dose do produto. A atividade da beta-glicosidase aumentou significativamente em resposta à adição do composto, e a atividade da fosfatase ácida foi superior à da fosfatase alcalina.

Hu e Cao (2007) encontraram maior atividade da fosfatase alcalina e da urease em áreas onde houve o uso de composto orgânico. Os autores também observaram que houve aumento da atividade da fosfatase com o aumento da quantidade de composto aplicado.

Conduzindo estudo sobre qualidade do solo em propriedades comerciais de morango sob sistema orgânico e convencional, Reganold et al. (2010) verificaram que a atividade da fosfatase ácida e de outras enzimas foi superior nas áreas sob manejo orgânico. De acordo com os autores, esses resultados indicam uma grande capacidade funcional desses solos.

Stott et al. (2010) avaliaram o uso da beta-glicosidase como um indicador de qualidade do solo para o modelo SMAF (Soil Management Assessment Framework) e concluíram que o uso desse indicador se mostrou sensível a diferentes sistemas de manejo, além de ter melhorado o modelo para avaliações de qualidade do solo onde a atividade enzimática exerce um papel importante na atividade metabólica ou no ciclo do carbono do solo.

Embora a beta-glicosidase possa se mostrar altamente correlacionada com o C orgânico do solo, isso nem sempre acontece. No caso dos Latossolos do Cerrado, a atividade da beta-glicosidase pode estar fortemente correlacionada com o conteúdo de P, por ser um nutriente limitante, mas fracamente correlacionada com o C orgânico (Green et al., 2007; Stott et al., 2010).

Dado os problemas causados pelos sistemas de produção mecanizado sobre os solos do Cerrado, Green et al. (2007) resolveram avaliar o impacto de três práticas de cultivo (plantio direto, grade de discos e arado de discos) sobre a atividade biológica e a estabilidade de agregados num Latossolo Vermelho típico da região de Cerrado. Entre as enzimas avaliadas, a fosfatase ácida foi a que se mostrou mais sensível às mudanças de manejo. Os autores verificaram que houve diferenças significativas na atividade enzimática observadas na camada de 0-5 cm, mas não no perfil de 0-30 cm.

Matsuoka et al. (2003) relatam que a beta-glicosidase, a fosfatase ácida e a arilsulfatase são indicadores biológicos sensíveis para identificar alterações no solo de acordo com os diferentes sistemas de uso da terra.

II.3 - A cultura do morango no DF

O morangueiro cultivado (*Fragaria X ananassa* Duch.) é uma planta herbácea e estolonífera, perene e rasteira, pertencente à família das Rosaceas, sendo um híbrido resultante das espécies americanas *F. chiloensis*, *F. virginiana* e *F. ovalis* (Ronque, 1998). Sua produção pode ser afetada pela interação dos fatores temperatura e fotoperíodo, sendo os dias curtos e com temperaturas baixas indutores da produção de botões, enquanto dias longos e temperaturas elevadas induzem estolões (Chaves, 2007).

No Brasil os principais produtores são os estados de Minas Gerais, Rio Grande do Sul, São Paulo e Paraná (Camargo Filho & Camargo, 2009). No entanto, observa-se uma expansão do cultivo do morango para regiões consideradas não-tradicionais sob o ponto de vista de solos e de clima.

Dentre essas regiões está o Distrito Federal. A cultura do morango adaptou-se muito bem às condições de altitude (em torno de 1.000 metros) e de clima característico do Planalto Central, onde ocorrem temperaturas mais altas no verão, que favorecem a produção de mudas, seguido de inverno ameno e seco, que favorece a floração, a frutificação e a maior qualidade dos frutos. Além disso, o cultivo do morangueiro exerce um importante papel social para o DF, em função da elevada demanda por mão-de-obra, que representa parte significativa do custo de produção da cultura e contribui para a geração de emprego e renda (Henz, 2010).

Avaliando o perfil socioeconômico dos produtores de morango no DF, Henz (2010) verificou que os agricultores familiares são responsáveis por mais de 90% da produção de morango do DF. O autor também verificou que a maioria dos produtores adota o sistema de produção convencional, sendo poucos os produtores orgânicos.

Verifica-se que há diferenças quanto à sucessão e/ou rotação de culturas, bem como quanto à manutenção ou não da cobertura plástica sobre o solo após o cultivo do morango, tanto no sistema convencional quanto no orgânico (Henz et al., 2009).

A área cultivada com morango no ano de 2009, segundo a Emater (2009), foi de 141,85 hectares, sendo aproximadamente 104 hectares cultivados na região de Brazlândia com uma produtividade média de 35 t/ha, e outros 36 hectares na região de Alexandre Gusmão, cuja produtividade média foi de 30 t/ha. De acordo com Henz (2010), em função das baixas temperaturas, a produtividade média em 2010 aumentou em 25% em relação ao ano anterior, alcançando 40 t/ha.

II.4 – Custo de Produção e Rentabilidade

A gestão eficiente dos fatores de produção (terra, capital, trabalho, tecnologias) é condição necessária para a sustentabilidade econômica do empreendimento rural, sendo o custo de produção uma das principais ferramentas de avaliação dessa gestão.

Reis (2007) define custos de produção como a soma de valores de todos os recursos (insumos e serviços) utilizados no processo produtivo de uma atividade agrícola, em certo período de tempo.

De acordo com Vasconcelos e Garcia (2004) e Conab (2010), os custos de produção podem ser divididos em dois tipos:

- Custos variáveis totais (CV): são a parcela dos custos totais que dependem da produção e por isso não mudam com a variação do volume de produção. São vinculados exclusivamente às etapas de cada ciclo produtivo e que, encerrada a produção, eles também cessam. São compostos por insumos (agrotóxicos, fertilizantes, mudas, sementes), operações de preparo do solo, de tratamentos culturais e de colheita, mão de obra variável, embalagens e transportes.
- Custos fixos totais (CF): correspondem à parcela dos custos totais que independem da produção. São decorrentes dos gastos com fatores fixos de produção. Por exemplo: aluguéis, benfeitorias, instalações, máquinas. Na contabilidade empresarial, são também chamados de custos indiretos.

O custo total de produção, por sua vez, corresponde à soma dos custos fixos totais (CF) e variáveis totais (CV).

No cálculo do custo de produção de uma determinada cultura deve constar como informação básica a combinação de insumos, de serviços, de máquinas e implementos

utilizados ao longo do processo produtivo, que é conhecida como pacote tecnológico e os respectivos preços pagos por cada um dos fatores de produção.

As quantidades de cada item de despesas que compõem os custos de produção são denominadas de coeficientes técnicos de produção, e podem ser expressas em tonelada, quilogramas, litros, horas, dias, entre outros. Entre os fatores que podem influenciar esses coeficientes destacam-se as condições edafoclimáticas, os sistemas de produção ou de cultivo, os fatores de produção disponíveis e as exigências de mercado (Araújo, 2010; Conab, 2010).

É possível fazer uma série de análises econômicas e financeiras a partir do custo de produção. Verifica-se que a análise de rentabilidade é uma das mais usuais para avaliar a viabilidade econômica do empreendimento rural, possibilitando comparar a eficiência de diferentes sistemas de produção (Karlen et al., 2006; Buman et al., 2004; Reganold et al., 2001).

Além de ter estudado o efeito da rotação de culturas sobre a qualidade do solo, Karlen et al. (2006) também avaliaram a rentabilidade desses sistemas, subtraindo as receitas obtidas dos custos variáveis e fixos de produção. Buman et al. (2004) também realizou trabalho semelhante, envolvendo sistemas de cultivo convencional e direto de milho e soja, e observaram as maiores rentabilidades para o sistema de plantio direto.

Embora tenham constatado maior índice de qualidade do solo para sistema integrado de produção de maçãs, Reganold et al. (2001) verificaram que o sistema orgânico de produção obteve melhor resultado econômico, avaliado a partir do custo de produção, receita bruta e lucro líquido.

Em outro trabalho envolvendo a qualidade do solo e o desempenho financeiro de unidades produtivas na Nova Zelândia, conduzidas sob sistemas de cultivo biodinâmico e convencional, Reganold et al. (1993), também observaram maior rentabilidade por hectare para as áreas sob sistema biodinâmico. Dadas as diferenças quanto ao capital fixo utilizado em cada propriedade, os autores resolveram excluir deste estudo os custos fixos e realizar as análises de viabilidade econômica apenas com os custos variáveis.

Na Europa, Mäder et al. (2002) constaram produtividade de cereais entre 30% e 40% menor em propriedade com adoção de sistemas orgânicos em relação a de propriedades com sistemas convencionais. No entanto, a rentabilidade das fazendas produtoras de cereais orgânicos se assemelha às que adotam sistemas convencionais.

Penteado Junior et al. (2009) realizaram o cálculo e análise de custos nos sistemas de produção integrada e convencional de pêssego, em dois estabelecimentos

agrícolas localizados nos municípios de Araucária e Lapa, no Paraná, e verificaram que os custos totais por hectare na produção em sistema integrado, durante os três anos de avaliação, foram 5,86% e 5,05% inferiores aos custos da produção em sistema convencional, respectivamente para Araucária e Lapa. Os itens mais representativos na composição dos custos foram a mão-de-obra e agrotóxicos.

A partir de um levantamento realizado em 2009 para traçar um diagnóstico da cadeia produtiva do morango no Distrito Federal, Henz (2010) relata que o custo de produção de morango convencional, para uma produtividade de 24 t/ha, era de R\$51.502,53, com a seguinte distribuição percentual por item de dispêndio: serviços/mão-de-obra (40%), mudas (20%), embalagens (18%), adubos/corretivos (14%), filme de polietileno para cobertura dos canteiros (5%), agrotóxicos (3%). Já o custo de produção apurado pela Emater (2012), para a mesma produtividade, foi de R\$ 53.975,18, com a mão-de-obra sendo o principal item de dispêndio.

Com o objetivo de avaliar o sistema de produção praticado por um produtor em busca da adaptação para a produção integrada de morango, Madail et al. (2007b) observaram que o custo de produção de um hectare alcançou R\$ 75.767,80, num período de colheita de 17 meses. A rentabilidade do sistema, ou seja, o quociente da renda bruta pelos custos variáveis ficou em 1,78, o que significa que para cada R\$ 1,00 aplicado na cultura o produtor recebeu como retorno R\$ 1,78. A margem de lucro e a taxa de retorno foram respectivamente de 43,8% e 78,17%.

Observa-se que, nos trabalhos realizados no Brasil envolvendo o tema custo de produção e que foram consultados neste estudo (Silva et al., 2004; Rezende et al., 2005; Attilio et al., 2009; Rezende et al., 2009), há uma predominância da estrutura de custo baseada no custo operacional efetivo (COE) e custo operacional total (COT) proposta por Matsunaga et al. (1976), sendo usada pelo Instituto de Economia Agrícola de São Paulo (IEA). Embora tenha algumas diferenças, a metodologia de cálculo de custos de produção agrícola da Conab (2010) sofreu influência da proposta de Matsunaga et al. (1976).

III - OBJETIVOS

III.1 - Objetivo Geral:

- Avaliar indicadores de qualidade do solo e o desempenho econômico da cultura do morango na Região Administrativa de Brazlândia, Distrito Federal.

III.2 - Objetivos Específicos:

- Avaliar indicadores físicos, químicos e biológicos em áreas cultivadas com o morango, com adoção de sistemas de produção diversificados, na Região Administrativa de Brazlândia, Distrito Federal.
- Levantar os coeficientes técnicos dos diferentes sistemas de produção do morango de forma a compor os custos de produção e efetuar a análise de rentabilidade.

IV – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA-MARTÍNEZ, V. & TABATABAI, M. A. Enzyme activities in a limed agricultural soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 31, p. 85-91, 2000.

ANDA – Associação Nacional para Difusão de Adubos. **Interpretação de análise de solo: conceitos e aplicações**. Boletim Técnico, n. 2, 2004, 50 p.

ANDREWS, S. S.; KARLEN, D. L. & CAMBARDELLA, C. A. A soil management assessment framework: a quantitative soil quality evaluation method. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, p. 1945-1962, 2004.

ANDREWS, S. S.; KARLEN, D. L. & MITCHELL, J. P. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 90, p. 25-45, 2002a.

ANDREWS, S. S.; MITCHELL, J. P.; MANCINELLI, R.; KARLEN, D. L.; HARTZ, T. K.; HORWATH, W. R.; PETTYGROVE, G. S.; SCOW, K. M. & MUNK, D. S. On-farm assessment of soil quality in California's Central Valley. **Agronomy Journal**, v. 94, p. 12-23, 2002b.

ARATANI, R. G.; FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F. & ANDRIOLI, I. Qualidade física de um Latossolo Vermelho acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 677-687, 2009.

ARAÚJO, M. J. Fundamentos de agronegócios. 3. ed. São Paulo : Atlas, 2010.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J. & LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 31, p. 1099-1108, 2007.

ARAÚJO, A. S. F. & MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal, Uberlândia**, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.

ARSHAD, M. A. & MARTIN, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. **Agricultural, Ecosystems and Environment**, v. 88, p. 153-160, 2002.

ATTILIO, L. B.; BOLIANI, A. C.; TARSITANO, M. A. A. Custo de produção de amora-preta em região tropical. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 4, p. 1042-1047, 2009.

BALOTA, E. L. & CHAVES, J. C. D. Enzymatic activity and mineralization of carbon and nitrogen in soil cultivated with coffee and green manures. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1573-1583, 2010.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J. & ZOLDA JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 155-163, 2004.

BRADY, N. C. & WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. New Jersey, Prentice-Hall, 2008, 975p.

BRONICK, C. J. & LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v. 124, p. 3-22, 2005.

BRUGNARO, R. & BACHA, C. J. C. Análise da participação da agropecuária no PIB do Brasil de 1986 a 2004. **Estudos Econômicos**, São Paulo, v.39, n.1, p. 127-159, 2009.

BUMAN, R. A.; ALESII, B. A.; HATFIELD, J. L. & KARLEN, D. L. Profit, yield, and soil quality effects of tillage systems in corn-soybean rotations. **Journal of Soil and Water Conservations**, v. 59, n. 6, p. 260-270, 2004.

CAMARGO FILHO, W. P. & CAMARGO, F. P. Análise da produção de morango dos estados de São Paulo e Minas Gerais e do mercado da CEAGESP. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.39, n.5, maio 2009.

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**, v. 33, p. 147-157, 2009.

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

CHAVES, A. A. A. **Avaliação do uso e qualidade do solo e da água da região de nascentes do rio Descoberto, DF**. 2005. 98p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília.

CHAVES, A. A. A.; LACERDA, M. P. C.; KATO, E.; GOEDERT, W. J.; RAMOS, M. L. G. Uso das terras da parte norte da Bacia do Rio Descoberto, Distrito Federal, Brasil. **Bragantia**, Campinas, v.69, n.3, p711-718, 2010.

CHAVES, N. 2007. **Cultivo do morango**. Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Universidade de Brasília – CDT/UnB, Dossiê Técnico. Disponível em: <<http://sbprt.ibict.br/acessoDT/152>> Acesso em: 05 de novembro de 2010.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Custo de produção agrícola: a metodologia da Conab**. Brasília : Conab, 2010.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J. & SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 777-788, 2005.

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

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

DICK, R. P. Soil enzyme activities as indicators of soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F. & STEWART, B. A. (Ed.). Defining Soil Quality for a Sustainable Environment, **Soil Science Society of America**, Special Publication, Madison, 1994, p. 107-124.

DICK, R. P.; BREAKWELL, D. P. & TURCO, R. Soil enzyme activities and biodiversity measurements. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J.; (Ed.). Methods for assessing soil quality. Madison: **Soil Science Society of America**, 1996. p.247-272. (Special publication number, 49).

DICK, W. A. & TABATABAI, M. A. Significance and potential uses of soil enzymes. In: METTING, F.B. **Soil microbial ecology: Application in agricultural and environmental management**. New York, Marcel Dekker, 1993. p.95-125.

DORAN, J. W. Soil health and global sustainability: translating science into practice. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 88, n. 2, p. 119-127, 2002.

DORAN, J. W. **Soil quality and sustainability**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. Anais. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM.

DORAN, J. W. & PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. 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**, 1994. p.1-20. (Publication Number 35)

DORAN, J. W. & PARKIN, T. B. 1996. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In DORAN, J.W. and JONES, A.J. eds. *Methods for Assessing Soil Quality*. **Soil Science Society of America**, Inc., Madison, Wisconsin, USA. Disponível em: <<http://soilquality.org/indicators.html>> Acesso em: 24 de outubro de 2010.

EIGENBERG, R. A.; DORAN, J. W.; NIENABER, J. A.; FERGUSON, R. B. & WOODBURY, B. L. Electrical conductivity monitoring of soil condition and available N with animal manure and a cover crop. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 88, p. 183-193, 2002.

EMATER-DF – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural. **Conjuntura socioeconômica rural 2009, RA: Brasília**, 2009.

EMATER-DF – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural. **Custo de produção de morango**. Disponível em: <<http://www.emater.df.gov.br/sites/200/229/00002041.pdf>>. Acesso em: 24 de janeiro de 2012.

EMATER-DF – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural. **Emater-DF 30 anos: ensinando e aprendendo**. Brasília: 2008. 143p.

ESWARAN, H. R.; LAL, R.; REICH, P. F. Land degradation: an overview. In: BRIDGES, E. M.; HANNAM, I. D.; OLDEMAN, L. R.; PENING DE VRIES, F. W. T.; SCHERR, S. J.; SOMPATPANIT, S. Eds. **Responses to land degradation**. International Conference on Land Degradation and Desertification, Khon Kaen, Thailand. New Delhi, Oxford Press, 2001.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **FAOSTAT – Agricultural area 2009**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/377/DesktopDefault.aspx?PageID=377#ancor>>. Acesso em: 02 jan. 2012.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **UN FAO Stat Lande Use 2004**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/faostat/>>. Acesso em: 20 nov. 2010.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 1989. **Sustainable agriculture and rural development**. Disponível em: <<http://www.fao.org/wssd/SARD/index-en.htm>> Acesso em: 20 de novembro de 2010.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **FESLM: an international framework for evaluating sustainable land management**. World Resources Report 73. FAO, Rome, Italy, 1993.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas**. FAO Irrigation and Drainage Paper 61. FAO, Rome, 2002.

FIGUEIREDO, C. C.; RESCK, D. V. S. & CARNEIRO, M. A. C. Labiel and stable fractions of soil organic matter under management systems and native cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 907-916, 2010.

FONTANA, A.; SILVA, C. F.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; BRITO, R. J. & BENITES, V. M. Avaliação dos compartimentos da matéria orgânica em área de Mata Atlântica. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.33, n.3, p. 545-550, 2011.

GILTRAP, D. J. & HEWITT, A. E. Spatial variability of soil quality indicators in New Zealand soils and land uses. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 47, p. 167-177, 2004.

GLIESSMAN, S. R.; WERNER, M. R.; SWEZEY, S. L.; CASWELL, E.; COCHRAN, J. & ROSADO-MAY, F. Conversion to organic strawberry management changes ecological processes. **California Agriculture**, v. 50, n. 1, p. 24-31, 1996.

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, Ecosystems and Environment**, v. 80, p. 29-45, 2000.

GOEDERT, W. J. **Qualidade do solo em sistemas de produção agrícola**. Anais do XXX CBCS, Recife-PE, SBCS, 2005.

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**, v.37, p.223-227, 2002.

GOVERNMENT OF ALBERTA, Agriculture and Rural Development. **Salt tolerance of plants**. Disponível em: <[http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/agdex3303](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/agdex3303)>, Acesso em: 28 de setembro de 2011.

GREEN, V. S.; STOTT, D. E.; CRUZ, J. C. & CURI, N. Tillage impacts on soil biological activity and aggregation in a Brazilian Cerrado Oxisol. **Soil & Tillage Research**, v. 92, p. 114-121, 2007.

GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R.; ANGERS, D. A.; MONREAL, C. M. & ELLERT, B. H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. **Canadian Journal of Soil Science**, 74: 367-385, 1994.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. & BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: 5. ed., Bertrand Brasil, 2010. 340 p.

HENZ, G. P. Desafios enfrentados por agricultores familiares na produção de morango no Distrito Federal. **Horticultura Brasileira**, v. 28, p. 260-265, 2010.

HENZ, G. P.; ARAÚJO, T. M. & PEREIRA, S. F. **Produção de morango no Distrito Federal**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2009.

HERMLE, S.; ANKEN, T.; LEIFELD, J. & WEISSKOPF, P. The effect of the tillage system on soil organic carbon content under moist, cold-temperate conditions. **Soil & Tillage Research**, v. 98, p. 94-105, 2008.

HU, C. & CAO, Z. Size and activity of the soil microbial biomass and soil enzyme activity in long-term field experiments. **World Journal of Agricultural Sciences**, v. 3, n. 1, p. 63-70, 2007.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável, Brasil 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010, 443 p.

KARLEN, D. L.; HURLEY, E. G.; ANDREWS, S. S.; CAMBARDELLA, C. A.; MEEK, D. W.; DUFFY, M. D. & MALLARINO, A. P. Crop rotation effects on soil quality at three northern corn/soybean belt locations. **Agronomy Journal**, v. 98, p. 484-495, 2006.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; KLINE, R. G.; HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluations. **Soil Science Society of America Journal**. 61:4-10, 1997

KARLIDAG, H.; YILDIRIM, E. & TURAN, M. Salicylic acid ameliorates the adverse effect of salt stress on strawberry. **Scientia Agricola**, v. 66, n. 2, p. 180-187, 2009.

LIMA, C. L. R.; PILLON, C. N. & LIMA, A. C. R. **Qualidade física do solo: indicadores quantitativos**. Embrapa Clima Temperado, 2007a. (Documentos / Embrapa Clima Temperado, ISSN 1805-9193; 196).

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**, v. 31, p. 1085-1098, 2007b.

MADAIL, J. C. M.; ANTUNES, L. E.; BERLAMINO, L. C.; SILVA, B. A.; GARDIN, J. A. **Avaliação Econômica dos Sistemas de Produção de Morango: Convencional, Integrado e Orgânico**. Comunicado Técnico, Embrapa, Pelotas, Dezembro, 2007a.

MADAIL, J. C. M.; ANTUNES, L. E.; JUNIOR, C. R.; BERLAMINO, L. C.; NEUTZLING, D. M.; SILVA, B. A. **Economia na produção de morango: estudo de caso de transição para produção integrada**. Embrapa Clima Temperado, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 53, 2007b.

MÄDER, P.; FLEISSBACH, A.; DUBOIS, D.; GUNST, L.; FRIED, P. & NIGGLI, U. Soil fertility and biodiversity in organic farming. **Science**, v. 296, p. 1694-1697, 2002.

MAKOI, J. H. J. R. & NDAKIDEMI, P. Selected soil enzymes: examples of their potential roles in the ecosystem. **African Journal of Biotechnology**, v. 7, p. 181-191, 2008

MALUCHE-BARETTA, C. R. D.; KLAUBERG-FILHO, O.; AMARANTE, C. V. T.; RIBEIRO, G. M. & ALMEIDA, D. Atributos microbianos e químicos do solo em

sistemas de produção convencional e orgânico de maçãs no Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 655-665, 2007.

MATSUNAGA, M. **Metodologia de custo de produção utilizada pelo IEA**. Agricultura em São Paulo, São Paulo, v.23, n.1, p.123-39, 1976.

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C. & LOUREIRO, M. F. 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**, v.27, p.425-433, 2003.

MEDEIROS, P. R. F.; DUARTE, S. N. & DIAS, C. T. S. Tolerância da cultura do pepino à salinidade em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.4, p.406-410, 2009.

MENDES, I. C.; HUNGRIA, M.; REIS JUNIOR, F. B.; FERNANDES, M. F.; CHAER, G. M.; MERCANTE, F. M. & ZILLI, J. E. **Bioindicadores para avaliação da qualidade dos solos tropicais: utopia ou realidade?** Planaltina-DF: Embrapa Cerrados, 2009 (Documentos 246).

MORRIS, M. L. M. **Avaliação da qualidade do solo sob sistema orgânico de cultivo**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2007, 82 p. Dissertação de Mestrado.

NATIONAL GEOGRAPHIC BRASIL. São Paulo: Ed. Abril, n.130, jan. 2011.

NORTCLIFF, S. Standardisation of soil quality attributes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 88, p. 161-168, 2002.

OLDEMAN, L. R. The global extent of land degradation. In: GREENLAND, D. J. & SZABOLCS, I. Eds. **Land Resilience and Sustainable Land Use**. Wallingford: CABI, p. 99-118, 1994.

PAPA, R. A.; LACERDA, M. P. C.; CAMPOS, P. M.; GOEDERT, W. J.; RAMOS, M. L. G. & KATO, E. Qualidade de latossolos vermelhos e vermelho-amarelos sob vegetação nativa de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 4, p. 564-571, 2011.

PENTEADO JUNIOR, J. F.; DE MIO, L. L. M. & RODIGHIERI, H. R. Custos em pomares de pessegueiro conduzidos nos sistemas integrado e convencional, nos municípios de Araucária e Lapa, Paraná. **Ciência Rural**, v.39, n.8, 2009.

PEREIRA, F. S.; ANDRIOLI, I.; BEUTLER, A. N.; ALMEIDA, C. X. & PEREIRA, F. S. Physical quality of an Oxisol cultivated with maize submitted to cover crops in the pre-cropping period. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 211-218, 2010.

PIGNATARO NETTO, I. T.; KATO, E. & GOEDERT, W. J. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1441-1448, 2009.

PORTZ, D. N. **Long-term rotation with monoculture cover crops increases yield of strawberry, reduces weed populations, and maintains soil chemical, physical, and biological characteristics during strawberry production.** Ames: Iowa State University, 2008. Thesis (Master of Science).

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais.** São Paulo, SP: Nobel, 2002.

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

REEVE, J. R. **Soil quality, microbial community structure, and organic nitrogen uptake in organic and conventional farming systems.** Pullman: Washington State University 2007. Dissertation (Doctor of Philosophy).

REGANOLD, J. P.; ANDREWS, P. K.; REEVE, J. R.; CARPENTER-BOGGS, L.; SCHADT, C. W.; ALLDREDGE, J. R.; ROSS, C. F.; DAVIES, N. M. & ZHOU, J. Fruit and soil quality of organic and conventional strawberry agroecosystems. **PlosOne**, v. 5, n. 9, 2010.

REGANOLD, J. P.; GLOVER, J. D.; ANDREWS, P. K. & HINMAN, H. R. Sustainability of three apple production systems. **Nature**, v. 410, p. 926-930, 2001.

REGANOLD, J. P.; PALMER, A. S.; LOCKHART, J. C. & MACGREGOR, A. N. Soil quality and financial performance of biodynamic and conventional farms in New Zealand. **Science**, v. 260, n. 5106, p. 344-349, 1993.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, v.27, n.2, ju./dez. 2003.

REIS, R. P. **Fundamentos de economia aplicada.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2007.

REZENDE, B. L. A.; BARROS JÚNIOR, A.P.; CECÍLIO FILHO, A. B.; PÔRTO, D. R. Q.; MARTINS, M. I. E. G. Custo de produção e rentabilidade das culturas de alface, rabanete, rúcula e repolho em cultivo solteiro e consorciadas com pimentão. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 305-312, 2009.

REZENDE, B. L. A.; CECÍLIO FILHO, A. B.; MARTINS, M. I. E. G.; COSTA, C. C. & FELTRIM, A. L. Viabilidade econômica das culturas de pimentão, repolho, alface, rabanete e rúcula em cultivo consorciado, na primavera-verão, Jaboticabal, Estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, SP, v.35, n.3, 2005.

RHOADES, J. D. & OSTER, J. D. Solute content. In: KLUTE, A. (Ed.) **Methods of soil analysis**. 2.ed. Part 1. Agronomy. Madison: ASA/SSSA, 1986. p.995-1006. (Monograph 9)

RONQUE, E. R. V. **A cultura do morangueiro: revisão e prática.** Paraná: EMATER, 1998. 206p.

SAIED, A. S.; KEUTGEN, A. J. & NOGA, G. The influence of NaCl salinity on growth, yield and fruit quality of strawberry cvs. “Elsanta” and “Korona”. **Scientia Horticulturae**, v. 103, n. 3, p. 289-303, 2005.

SCHIPPER, L. A. & SPARLING, G. P. Performance of soil condition indicators across taxonomic groups and land uses. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 300-311, 2000.

SILVA, A. S. Análise morfológica dos solos e erosão. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. & BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 5ª Ed., 2010, 340p.

SILVA, M. O.; FREIRE, M. B. G. S.; MENDES, A. M.; FREIRE, F. J.; SOUSA, C. E. S. & GÓES, G. B. Crescimento de meloeiro e acúmulo de nutrientes na planta sob irrigação com águas salinas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.6, p.593–605, 2008.

SILVA, R. R.; SILVA, M. L. N. & FERREIRA, M. M. Atributos físicos indicadores de qualidade do solo sob sistemas de manejo na bacia do Alto do Rio Grande - MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 4, p. 719-730, 2005.

SILVA, M. C. A.; TARSITANO, M. A. A. & CORRÊA, L. S. Análise do custo de produção e lucratividade do mamão Formosa, cultivado no município de Santa Fé do Sul-SP. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 1, p. 40-43, 2004.

SMITH, J. L.; DORAN, J. W. Measurement and use of pH and electrical conductivity for soil quality analysis. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Eds.), *Methods for assessing soil quality*, **Soil Science Society of America**. Special Publication 49. SSSA, Madison, WI, 1996.

SOUSA, D. M. G. & LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. - Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.

SPARLING, G. **Soil quality of horticultural sites in the Auckland region in 2008: changes since 1995-2000**. Landcare Research for Auckland Regional Council. Technical Report, n. 8, 2009.

SPARLING, G. & SCHIPPER, L. Soil quality monitoring in New Zealand: trends and issues arising from a broad-scale survey. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 104, p. 545-552, 2004.

SPARLING, G. P.; SCHIPPER, L. A.; BETTJEMAN, W. & HILL, R. Soil quality monitoring in New Zealand: practical lesson from a 6-year trial. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 104, p. 523-534, 2004.

STOTT, D. E.; ANDREWS, S. S.; LIEBIG, M. A.; WIENHOLD, B. J. & KARLEN, D. L. Evaluation of β -Glucosidase activity as a soil quality indicator for the Soil Management Assessment Framework. **Soil Science Society of America Journal**, v. 74, n. 1, p. 107-119, 2010.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R. W.; ANGLE, J. S.; BOTTOMLEY, P.; BEZDICEK, D.; SMITH, S; TABATABAI, A. & WOLLUM, A. G. eds. **Methods of soil analysis: Microbiological and biochemical properties**. Madison, Soil Science Society of America, 1994.

TILMAN, D.; CASSMAN, K. G.; MATSON, P.; NAYLOR, R. & POLASKY, S. Agricultural sustainability and intensive production practices. **Nature**, v. 418, p. 671–677, 2002.

VALARINI, P. L.; FRIGHETTO, R. T. S.; SCHIAVINATO, R. J.; CAMPANHOLA, C.; SENA, M. M.; BALBINOT, L. & POPPI, R. J. Análise integrada de sistemas de produção de tomateiro com base em indicadores edafobiológicos. **Horticultura Brasileira**, v. 25, p. 60-67, 2007.

VALARINI, P. L.; OLIVEIRA, F. R. A.; SCHILICKMANN, S. F. & POPPI, R. J. Qualidade do solo em sistemas de produção de hortaliças orgânico e convencional. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 4, p. 485-491, 2011.

VALENTIN, E. F. D. **Modelagem dinâmica de perdas de solo: o caso do alto curso da bacia hidrográfica do rio Descoberto – DF/GO**. Brasília: Universidade de Brasília, 2008. 149 p. Tese de Doutorado.

VASCONCELOS, M. A. S. & GARCIA, M. E. **Fundamentos de economia**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2004.

VERHULST, N., GOVAERTS, B., VERACHTERT, E., CASTELLANOS-NAVARRETE, A., MEZZALAMA, M., WALL, P., DECKERS, J., SAYRE, K.D. Conservation agriculture, improving soil quality for sustainable production systems? In: LAL, R., STEWART, B.A. (Eds.), **Advances in soil science: food security and soil quality**. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, p. 137-208, 2010.

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

VINHAL-FREITAS, WANGEN, D. R. B.; FERREIRA, A. S.; CORRÊA, G. F. & WENDLING, B. Microbial and enzymatic activity in soil after organic composting. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 757-764, 2010.

WENDLING, B.; JUJSCH, I.; MENDONÇA, E. S. & NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 5, p. 487-494, 2005.

USDA - United States Department of Agriculture. **Rangeland soil quality – Organic Matter**. Rangeland Sheet, n. 6, 2001.

USDA - United States Department of Agriculture, 2001. **Rangeland soil quality – Soil Biota**. Disponível em: <<http://soils.usda.gov/sqi/management/files/RSQIS8.pdf>> Acesso em: 27 de novembro de 2010.

USDA - United States Department of Agriculture. **Soil Quality Institute**, AMES, IA. Disponível em: <<http://soils.usda.gov/sqi/>> Acesso em: 15 de outubro de 2010.

USDA - United States Department of Agriculture. **Soil quality indicators: aggregate stability**. 2008a.

USDA - United States Department of Agriculture. **Soil quality indicators: bulk density**. 2008b.

USDA - United States Department of Agriculture. **Soil quality physical indicators: selecting dynamic soil properties to assess soil function**. Soil Quality Technical Note, n. 10, 2008c.

ZOBECK, T. M.; HALVORSON, A. D.; WIENHOLD, B.; ACOSTA-MARTINEZ, V. & KARLEN, D. L. Comparison of two soil quality indexes to evaluate cropping systems in northern Colorado. **Journal of Soil and Water Conservations**, v. 63, n. 5, p. 329-338, 2008.

CAPÍTULO ÚNICO

Trabalho a ser encaminhado para a Revista Brasileira de Ciência do Solo

QUALIDADE DO SOLO E DESEMPENHO ECONÔMICO DO CULTIVO DO MORANGO EM BRAZLÂNDIA, DISTRITO FEDERAL.¹

Jales Viana Falcão²; Marilusa Pinto Coelho Lacerda³; Ieda de Carvalho Mendes⁴; Tairone Paiva Leão⁵; Fabiana Fonseca do Carmo⁶.

¹Projeto financiado pela FAPDF.

²Aluno do mestrado em Gestão de Solo, Água e Qualidade Ambiental da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília – FAV-UnB, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Instituto Central de Ciências Ala Sul, Caixa Postal 4.508, CEP: 70.910-960, Brasília, DF, jalesfalcao@gmail.com.

³Professora Associada da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília – FAV-UnB.

⁴Pesquisadora da Embrapa Cerrados. Caixa Postal 08223, CEP 73310-970, Brasília-DF. E-mail: mendesi@cpac.embrapa.br

⁵Professor Adjunto da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília – FAV-UnB.

⁶Engenheira Agrônoma, Estagiária técnica do laboratório de mineralogia e geoprocessamento da FAV/UnB. Campus Universitário Darcy Ribeiro ICC Ala Sul, CEP 70910-970, Brasília-DF.

RESUMO

A produção de alimentos economicamente viáveis e a manutenção ou melhoria das funções do solo para o agroecossistema, estão entre os principais desafios da comunidade científica na atualidade. Diante disso, este estudo objetivou avaliar indicadores físicos, químicos e biológicos de qualidade do solo e o desempenho econômico em três unidades de produção comercial de morango em Brazlândia, Distrito Federal, sendo duas sob sistema de produção convencional e uma sob sistema orgânico. O sistema de manejo convencional 1 (Conv1) é caracterizado pelo cultivo de morango em uma área que esteve ocupada por 12 anos com pastagem com gramínea do gênero *Brachiaria* spp., sem controle de lotação e sem adubação; o sistema de manejo convencional 2 (Conv2) se caracterizou pelo cultivo do morango em rotação com outras

espécies olerícolas (cenoura, couve-flor e beterraba), sendo esta a sucessão/rotação de cultura mais comum adotada na região; já o cultivo do morango no sistema orgânico (Org) ocorreu imediatamente após a adubação verde com o consórcio de milho e mamona, sendo que, anteriormente, a área esteve sob pousio por um ano. Os atributos indicadores de qualidade do solo avaliados foram: densidade do solo (Ds), estabilidade de agregados (EA), matéria orgânica (MO), capacidade de troca catiônica (CTC), condutividade elétrica (CE), beta-glicosidase (BG) e fosfatase ácida (FA). Os parâmetros econômicos estudados foram: custo variável de produção (CV), renda bruta (RB), margem bruta (MB), ponto de equilíbrio (PE) e índice de rentabilidade (IR). Os valores observados para os indicadores físicos são, de maneira geral, considerados sustentáveis para Latossolos do Cerrado. Os teores de MO foram similares em todos os sistemas e a CTC foi superior ou ficou próxima ao limite crítico considerado sustentável. Em função da elevada aplicação de fertilizantes, a maior CE foi registrada para o sistema Conv2, mas não houve efeito deletério sobre a produtividade. A atividade das enzimas BG e FA, indica boa qualidade biológica do solo em todos os sistemas produtivos de morango. Em termos econômicos, o sistema orgânico de morango apresentou menor RB, mas foi 9,43% mais rentável do que o sistema convencional.

Palavras chave: física do solo, química do solo, enzimas do solo, custo de produção, rentabilidade, Latossolo.

SOIL QUALITY AND ECONOMIC PERFORMANCE OF STRAWBERRY CULTIVATION IN BRAZLÂNDIA, FEDERAL DISTRICT.

ABSTRACT

Economically sustainable food production and maintenance or improvement of soil functions in agroecosystems are among the main challenges for the scientific community nowadays. The objective of this study was to evaluate physical, chemical and biological soil quality indicators and economic performance of three commercial strawberry production units in Brazlândia, Distrito Federal, Brazil. Two of the production units were managed under conventional systems while the third was managed under organic production system. The first conventional system evaluated (Conv1) was characterized by strawberry cultivation in an area that was previously used as grassland with *Brachiaria* spp. grass for 12 years without fertilization and without control for stocking rates; the second conventional system (Conv2) was characterized by strawberry cultivation in a cropping rotation system with other horticultural species (carrots, cauliflower and beets), with this being the most commonly adopted system in the region; the organic strawberry cropping system (Org) was implemented after the use of corn and castor oil plant cultivated together as a green manure, before that the area was left fallow for a year. The soil quality indicators evaluated were: soil bulk density (Ds), aggregate stability (EA), organic matter (MO), cation exchange capacity (CTC), electrical conductivity (CE), beta-glicosidase (BG) and acid-phosphatase (FA). The economic parameters evaluated were: variable production cost (CV), gross income (RB), gross margin (MB), balance point (PE) and profitability index (IR). The observed values of physical indicators are generally considered sustainable for Cerrado Oxisols. The MO was similar in all systems and the CTC was higher or close to the critical limit considered sustainable. Due to the higher fertilizer input, the highest CE was found at the Conv2 system, but there was no negative impact in productivity. The activity of the BG and FA enzymes indicated good soil biological quality in all strawberry production systems evaluated. Regarding economical performance, the organic system had a lower RB, but was 9.43% more profitable than the conventional systems.

Keywords: soil physics, soil chemistry, soil enzymes, production cost, profitability, Oxisol.

I – INTRODUÇÃO

A produção de alimentos economicamente viáveis e a manutenção ou melhoria das funções do solo para o agroecossistema, estão entre os principais desafios da comunidade científica na atualidade.

O solo é considerado o principal substrato da produção agrícola mundial, com quase cinco bilhões de hectares de área cultivada com culturas temporárias e permanentes (FAO, 2012). No entanto, esse recurso natural está cada vez mais escasso e ameaçado. Segundo dados da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO, 2010), em 1961 a proporção de área agricultável no mundo por pessoa era de 0,42 hectare. Já em 2004, esta proporção passou a ser de 0,23 hectare. Entre as causas dessa redução estão o aumento da população mundial nas últimas quatro décadas e o aumento de áreas degradadas que inviabilizaram a produção de alimentos.

A qualidade do solo é conceituada como uma ligação importante entre as estratégias de manejo conservacionistas e a realização dos principais objetivos da agricultura sustentável (Doran, 2002). Tilman et al. (2002) define agricultura sustentável como sendo a prática que atenda as necessidades atuais e de longo prazo para a produção de alimentos, fibras e outras necessidades das sociedades, ao mesmo tempo em que maximiza os benefícios obtidos por meio da conservação dos recursos naturais, para manter outros serviços e funções do ecossistema. Entre os critérios propostos pela FAO (1993) para a definição de um manejo agrícola sustentável estão a manutenção da qualidade do solo e o uso de sistemas de produção economicamente viáveis.

Embora a qualidade do solo não possa ser medida diretamente, ela pode ser inferida por meio de indicadores. Encontra-se na literatura vários estudos propondo indicadores e modelos para avaliar a influência das práticas de manejo sobre a qualidade do solo e suas consequências sobre a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola (Doran & Parkin, 1994; Glover et al., 2000; Andrews et al., 2002a, b; Mäder et al., 2002; Costa et al., 2006; Maluche-Baretta et al., 2006; Araújo et al., 2007; Lima et al., 2007; Mendes et al., 2009; Reganold et al., 2001).

A preocupação com os impactos ambientais, econômicos e sociais da agricultura convencional tem levado muitos agricultores a buscarem práticas alternativas para uma agricultura mais sustentável. Entre as alternativas está o sistema orgânico de produção, que prega o uso de compostos orgânicos para melhorar a qualidade do solo, além do

controle natural de pragas, a rotação de culturas, a diversidade de cultivos e animais, e a proibição do uso de fertilizantes sintéticos e agrotóxicos, entre outros.

Alguns estudos têm demonstrado a superioridade do sistema de produção orgânico frente ao convencional sobre os indicadores físicos, químicos e biológicos de qualidade do solo, bem como sobre os níveis de rentabilidade (Reganold et al., 1993; Reganold et al., 2001; Mäder et al., 2002). No entanto, há estudos onde não se observou vantagens (Trewavas, 2004; Pardo et al., 2009) ou sequer diferenças entre esses sistemas (Glover et al., 2000; Kamiyama et al. 2011).

O morango (*Fragaria X ananassa* Duch.) é um fruto muito apreciado mundialmente. No Brasil, os principais produtores são os estados de Minas Gerais, Rio Grande do Sul, São Paulo e Paraná (Camargo Filho & Camargo, 2009). Porém, observa-se uma expansão do cultivo do morango em regiões consideradas não-tradicionais, como o Distrito Federal (DF).

A cultura do morango se adaptou muito bem às condições de altitude (em torno de 1.000 metros) e de clima característico do Planalto Central, onde ocorrem temperaturas mais altas no verão, que favorecem a produção de mudas, seguido de inverno ameno e seco, que favorece a floração, a frutificação e a maior qualidade dos frutos. Além disso, o cultivo do morangueiro exerce um importante papel social para o DF, em função da elevada demanda por mão-de-obra, que representa parte significativa do custo de produção da cultura e por contribuir para a geração de emprego e renda (Henz, 2010).

Apesar da importância econômica e social do cultivo de morango e das demais culturas olerícolas, tanto no Distrito Federal quanto no Brasil, verifica-se que a maioria dos estudos envolvendo tanto a qualidade do solo como a viabilidade econômica é realizada somente em grandes culturas (Karlen et al., 2006; Buman et al., 2004). Diante do exposto, este trabalho objetivou avaliar indicadores de qualidade do solo e o desempenho econômico da cultura do morango na Região Administrativa de Brazlândia, Distrito Federal, em sistemas de produção orgânico e convencional.

II - MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste estudo foi necessário o cumprimento de uma série de etapas, as quais envolveram: o levantamento bibliográfico sobre a caracterização da área de estudo e sobre o tema da pesquisa; consulta a pesquisadores, produtores rurais, associações e órgãos de pesquisa e extensão rural, de forma a consolidar o objeto e as

metodologias do trabalho; visitas a campo para levantamento e coleta de dados; análises e tratamento dos dados levantados; e por fim, a discussão dos resultados obtidos e a elaboração da dissertação.

II.1 – Caracterização da Área de Estudo

O estudo foi conduzido em três unidades de produção comercial de morango, localizadas na Região Administrativa de Brazlândia, DF, inseridas na microbacia do Ribeirão Rodeador e que, por sua vez, é um dos principais afluentes do lago Descoberto (Figura 1). As altitudes das áreas variam de 1.209 a 1.274 m, o que as caracteriza como clima tropical de altitude (Cwb), conforme classificação de Köppen. A precipitação anual nessa região fica entre 1.200 a 1.700 mm, segundo Fonseca (2001).

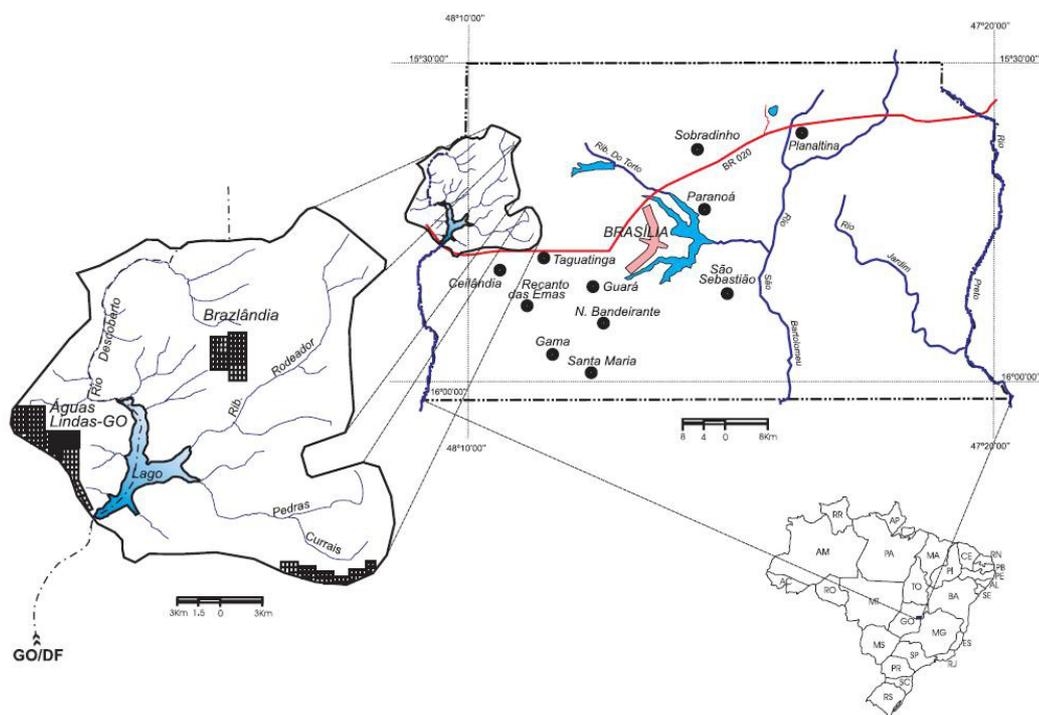


Figura 1. Mapa de localização do alto curso do Rio Descoberto. (Fonte: Reatto et al., 2003)

A Bacia do Lago Descoberto está situada no quadrante $15^{\circ}35'00''$ a $15^{\circ}48'00''$ de latitude Sul e $48^{\circ}03'00''$ a $48^{\circ}15'00''$ de longitude Oeste, abrangendo uma área de 452 km^2 , pertencente à Bacia do Rio Paraná.

A área de estudo tem seu contexto geológico relacionado ao Grupo Paranoá, caracterizado por uma sequência de rochas psamo-pelito-carbonatadas, de idade Meso/Neoproterozóica e baixo grau metamórfico (Freitas-Silva & Campos, 1998).

Quanto à geomorfologia, de acordo com Novaes-Pinto (1994), o DF apresenta três superfícies geomorfológicas: 1 – Região de Chapadas; 2 – Área de Dissecação Intermediária; e 3 – Região Dissecada de Vale. As áreas deste estudo estão localizadas na Região de Chapadas, que ocupa cerca de 34% do DF, sendo caracterizada por uma topografia plana a suave-ondulada (Novaes Pinto, 1994).

A melhor e mais atual fonte de informações sobre os solos da Bacia do Rio Descoberto, encontra-se no Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento nº 92 da Embrapa (Reatto et al., 2003), de onde se obteve o mapa de solos do Alto Curso do Rio Descoberto, na escala de 1:100.000. De acordo com esses autores, os Latossolos perfazem 70,67% da Bacia do Rio Descoberto, tendo como representantes o Latossolo Vermelho (LV), ocupando 34,09% e o Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) ocupando 36,58% da bacia.

As unidades de produção de morango avaliadas são caracterizadas por três sistemas de manejo, sendo dois convencionais (Conv1 e Conv2) e um orgânico (Org). Para a seleção dessas áreas, foram consultados produtores rurais e extensionistas da Emater-DF, para a coleta de informações que garantissem a similaridade das áreas quanto aos seguintes critérios de seleção: variedade cultivada, classe de solo e representatividade quanto aos sistemas de produção adotados na região.

O sistema de manejo convencional 1 (Conv1) (Figura 2) é caracterizado pelo cultivo de morango em uma área que esteve ocupada por 12 anos com pastagem com gramínea do gênero *Brachiaria* spp., sem controle de lotação e sem adubação, enquanto que o sistema de manejo convencional 2 (Conv2) (Figura 3) se caracterizou pelo cultivo do morango em rotação com outras espécies olerícolas (cenoura, couve-flor e beterraba), sendo esta a sucessão/rotação de cultura mais comum adotada na região. Já o cultivo do morango no sistema orgânico (Org) (Figura 4) ocorreu imediatamente após a adubação verde com o consórcio de milho e mamona, sendo que, anteriormente, a área esteve sob pousio por um ano. As descrições pormenorizadas de cada área constam na tabela 1.



Figura 2. Unidade produtiva sob o sistema convencional de produção de morango após pastagem de braquiária (Conv1).



Figura 3. Unidade produtiva sob o sistema convencional de produção de morango em rotação com outras olerícolas (Conv2).



Figura 4. Unidade produtiva sob o sistema orgânico de produção de morango (Org).

II.2. Caracterização dos Solos das Áreas de Estudo

Para efetuar a caracterização dos solos, procedeu-se a abertura de trincheiras representativas em cada uma das unidades produtivas, localizadas nas seguintes coordenadas: Org = 15°40'26,16" S e 48°9'52,09" W; Conv1 = 15°40'2,78" S e 48°10'25,07" W; e Conv2 = 15°36'48,21" S e 48°3'56,69" W. A coleta das amostras e as descrições morfológicas dos horizontes representativos dos perfis dos solos, foram executadas de acordo com as recomendações de Santos et al. (2005), enquanto as caracterizações físicas e químicas foram feitas conforme o Manual de Métodos de Análises de Solos (Embrapa, 1997).

Tabela 1. Descrição e histórico dos sistemas de manejo das unidades de produção de morango.

Manejo	Solo	Irrigação	Área (ha)	Variedades	Descrição
Orgânico (Org)	Latossolo Vermelho Distrófico (LVd)	Gotejamento e Aspersão	1,15	Albeon, Camino Real e Festival	A área está há 7 anos com certificação (Ecocert) no sistema orgânico. O morango é cultivado a cada 3 anos. Após cada cultivo do morango, a área é usada para a produção de outras olerícolas (como a batata), seguindo 1 ano de pousio e depois a adubação verde. O cultivo atual do morango foi antecedido pela adubação verde com o consórcio milho/mamona. Na preparação do solo, o adubo verde foi incorporado por meio de grade-aradora (1x). A adubação de base foi realizada com os seguintes produtos: Fosfato Natural de Araxá (500 kg/ha); Composto orgânico (49,5 m ³); Bokashi (100 kg/ha); Biofertilizante (3 tambores de 200L). Os canteiros foram construídos por meio de encanteiradora (1x). O plantio foi realizado em abril de 2011, no espaçamento 0,35 m x 0,35 m, sendo 3 linhas por canteiro com cerca de 1,20 m de largura. Na adubação de cobertura foram empregados os Compostos Orgânicos e os Biofertilizantes. Foram usados inseticidas biológicos e calda sulfocálcica para os tratamentos fitossanitários.
Convencional 1 (Conv1)	Latossolo Vermelho Distrófico (LVd)	Gotejamento e Aspersão	1,60	Camino Real, Festival e Osogrande	A área ficou por 12 anos ocupada com pastagem do gênero <i>Brachiaria</i> spp., sem adubação e com rara presença de animais. O preparo do solo para a cultura do morango foi realizado entre fevereiro e março de 2011 por meio de arado de discos (2x) e grade-aradora (1x), onde se incorporou a gramínea, o calcário dolomítico (1,5 t/ha) e os esterco de bovino e frango (46,9 m ³). Os canteiros, com 1,20 m de largura, foram construídos por meio de encanteiradora (2x). A adubação de base ocorreu em março de 2011, com os seguintes produtos: 04-14-07 (2.500 kg/ha); Termofosfato magnésiano (1.250 kg/ha); Farinha de osso (469 kg/ha); e torta de mamona (1.000 kg/ha). O plantio foi realizado em março com espaçamento de 0,35 m x 0,35 m, sendo 3 linhas por canteiro. Na adubação de cobertura foram empregados adubos granulados, foliares e fertirrigação. Foram usados agrotóxicos nos tratamentos fitossanitários.
Convencional 2 (Conv2)	Latossolo Vermelho Distrófico (LVd)	Aspersão	1,00	Camarosa, Camino Real, Festival e Osogrande	Antes do morango, a área foi cultivada com outras olerícolas (cenoura > couve-flor > beterraba). As adubações realizadas nas olerícolas foram as seguintes: Cenoura - (base: 2000 kg/ha de 04-14-08 + 520 kg/ha de Termofosfato magnésiano; cobertura: 750 kg/ha de 10-10-10 e 750 kg/ha de 20-00-20). Couve-flor - (base: 300 kg/ha de 04-14-08; cobertura: 600 kg/ha de 20-00-20). Beterraba - (base: 30 m ³ de esterco de aviário; cobertura: 2000 kg/ha de 20-00-20). Os restos vegetais da beterraba foram incorporados por meio de grade-aradora. Após 45 dias, passou-se novamente a grade-aradora para incorporar o calcário dolomítico (1.250 kg/ha), o calcário calcítico (750 kg/ha) e o esterco de frango (30 m ³). Os canteiros, com cerca de 1,20 m de largura, foram construídos por meio de encanteiradora (2x). A adubação de base ocorreu em março de 2011, com os seguintes produtos: 04-14-08 (2.000 kg/ha); Termofosfato magnésiano (520 kg/ha); Farinha de Osso (1.200 kg/ha); Sulfato de Zn (26,6 kg/ha); Bórax (26,6 kg/ha); Sulfato de Mg (26,6 kg/ha). O plantio foi realizado em março de 2011, com espaçamento de 0,35 m x 0,35 m, sendo 3 linhas de plantas por canteiro. Empregou-se na adubação de cobertura o formulado 13-03-25. Para tratamentos fitossanitários foram usados agrotóxicos.

II.3 – Qualidade do Solo

II.3.1 Amostragem do Solo

A coleta das amostras para avaliação dos indicadores de qualidade do solo foi realizada no mês de julho de 2011, mais especificamente na décima-sexta semana após o transplante (SAT), ocasião em que os morangueiros atingiram um bom desenvolvimento vegetativo, coincidindo com o início do pico da produção. Nas unidades de produção de morango selecionadas (Conv1, Conv2 e Org), a amostragem dos solos foi realizada sobre os canteiros cultivados com a variedade Camino Real, entre as linhas do morangueiro, de maneira aleatória, retirando-se, em cada unidade produtiva, amostras simples (deformadas e indeformadas) na profundidade de 0-10 cm e na de 20-30 cm, em três pontos distribuídos ao longo dos canteiros, com três repetições cada, totalizando 18 amostras por unidade de produção. De modo a conhecer os efeitos em subsuperfície do revolvimento no canteiro, cujo preparo pode ocorrer até 30 cm de profundidade, foi estabelecida a profundidade de 20 -30 cm, embasado em estudos similares, tais como Reganold et al. (2010).

II.3.2 – Análise Textural

Para a realização das análises texturais foram usadas as mesmas amostras para as análises dos indicadores de qualidade do solo. Tais análises foram realizadas por meio do método do densímetro de Boyoucos, conforme Embrapa (1997), e teve a finalidade de verificar a homogeneidade quanto à classe textural das amostras de solo estudadas.

II.3.3 – Análise dos Indicadores Físicos de Qualidade

A densidade do solo (Ds) e a estabilidade de agregados (EA) foram os indicadores selecionados para avaliar a qualidade física do solo.

A determinação da densidade do solo foi realizada por meio de amostras indeformadas, empregando o método do anel volumétrico (100 cm³) (Embrapa, 1997). A estabilidade de agregados foi determinada por peneiramento úmido, utilizando-se o aparelho de Yoder, após pré-umedecimento por capilaridade sobre papel de filtro, conforme Embrapa (1997). Para a separação de classes de tamanho dos agregados foram utilizadas peneiras com as seguintes dimensões de malha: 4 mm; 2 mm; 1 mm; 0,5 mm e 0,25 mm. O diâmetro médio ponderado foi calculado de acordo com a equação proposta por Youker & McGuiness (1956):

$$DMP = \Sigma(F_i X_i) / 100 \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde:

$i = 1$ a 5 $F_i = \%$ de agregados

$X_i = (\text{abertura da peneira passada} + \text{abertura da peneira retida})/2$

II.3.4 – Análise dos Indicadores Químicos de Qualidade

Os indicadores químicos eleitos para a avaliação da qualidade do solo foram: matéria orgânica do solo (MOS), capacidade de troca catiônica (CTC) e condutividade elétrica (CE).

A determinação desses indicadores foi feita de acordo com os métodos analíticos descritos em Embrapa (1997), em amostras da fração TFSA (Terra Fina Seca ao Ar). Para a MOS, utilizou-se o método de oxidação via úmida denominado Walkley & Black, enquanto que a CTC foi calculada pela soma das bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+) e acidez potencial ($\text{H}+\text{Al}^{3+}$), cujos procedimentos foram extraídos de Embrapa (1997). Para a condutividade elétrica, o método empregado foi do extrato obtido da pasta de saturação do solo, em conformidade com Embrapa (1997). Adicionalmente, foram analisados os teores de P e K extraídos com o extrato Mehlich-I, pH em água e saturação por bases (V) (Embrapa, 1997).

II.3.5 – Análise dos Indicadores Biológicos de Qualidade

A qualidade biológica do solo foi avaliada mediante a atividade das enzimas beta-glicosidase (associada ao ciclo do carbono) e da fosfatase ácida (associada ao ciclo do fósforo).

A determinação da atividade dessas enzimas foi realizada de acordo com os métodos descritos em Tabatabai (1994). Tais métodos se baseiam na determinação colorimétrica do *p*-nitrofenol (coloração amarela), formado após a adição de substratos incolores específicos a cada enzima avaliada. Foram efetuadas três repetições analíticas para cada amostra de solo coletada no campo.

II.4 – Custo de Produção e Análise Econômica

Os levantamentos de coeficientes técnicos – referentes às quantidades de mudas, fertilizantes, mão-de-obra, agrotóxicos e afins, e serviços, empregadas no processo produtivo – para a composição dos custos de produção foram realizados por meio de entrevistas junto aos produtores de cada uma das unidades produtivas, ao final do ciclo da cultura do morango, em meados de outubro de 2011.

Os preços dos insumos e serviços empregados nos custos de produção foram aqueles efetivamente pagos pelos produtores, obtidos junto aos sistemas próprios de contabilidade, notas fiscais e consultas a estabelecimentos comerciais.

Paralelamente, efetuou-se o levantamento do preço médio recebido pelos produtores de morango no ano de 2011, de modo a compor a receita e, assim, poder avaliar a viabilidade econômica, bem como determinar a rentabilidade.

Os custos de produção foram construídos em conformidade com a metodologia da Conab (2010).

Em função das grandes diferenças entre os custos fixos das unidades produtivas, foram levados em conta apenas os custos variáveis para diagnosticar o desempenho econômico. Procedimento semelhante foi adotado por Reganold et al. (1993).

De posse dos resultados dos custos variáveis (CV) e dos preços recebidos pelos produtores (PRP), foram efetuados os cálculos dos seguintes parâmetros econômicos:

- Receita Bruta (RB)

$$RB = \text{Prod} \times \text{PRP} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde Prod: é a produtividade por hectare; PRP: preço recebido pelo produtor por unidade comercializada de morango (R\$/kg).

- Margem Bruta (MB)

$$MB = RB - CV \quad (\text{Equação 3})$$

- Ponte de Equilíbrio (PE)

$$PE = CV / \text{PRP} \quad (\text{Equação 4})$$

- Índice de Rentabilidade (IR)

$$IR = RB / CV \quad (\text{Equação 5})$$

II.5 – Análise Estatística

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa estatístico *Statistics Analysis System* (SAS Institute, 2002) e constituiu de análise de variância (ANOVA) em relação aos sistemas (Org, Conv1 e Conv2), repetições (nove) e profundidades (0-10 e 20-30 cm), seguidos do teste de Tukey para comparação de médias, com posterior análise dos resultados a 5% de probabilidade. Foram ainda

determinadas as correlações entre os atributos físicos, químicos e biológicos estudados por análise de correlação de Pearson.

III – RESULTADOS E DISCUSSÃO

III.1 – Características dos Perfis dos Solos

O solo das três áreas de estudo foi classificado como um Latossolo Vermelho distrófico típico, A moderado, textura muito argilosa, segundo SiBCS (Embrapa, 2006) (Figuras 5, 6 e 7). As características morfológicas, físicas e químicas que serviram de apoio para a classificação, constam nas tabelas 2 e 3.

III.2 – Textura dos Solos das Unidades Produtivas

Os resultados das análises texturais das amostras indicam que há uniformidade em relação à textura das unidades produtivas estudadas, variando de argilosa a muito argilosa.



Figura 5. Perfil representativo do Latossolo Vermelho da área sob sistema Org.



Figura 6. Perfil representativo do Latossolo Vermelho da área sob sistema Conv1.



Figura 7. Perfil representativo do Latossolo Vermelho da área sob sistema Conv2.

Tabela 2. Características físicas e morfológicas dos solos.

Horizonte	Profundidade	Cor	Textura	Estrutura	Vegetação
Perfil - Org					
Latossolo Vermelho distrófico típico - LVd					
A	0 - 22 cm	2,5 YR 2,5/4	argilosa	forte pequena a muito pequena grumosa	Cerrado tropical subcaducifólio
AB	22 - 38 cm	2,5 YR 3/6	argilosa	forte pequena a muito pequena granular	
Bw	38 cm+	2,5 YR 4/8	muito argilosa	forte pequena a muito pequena granular	
Perfil - Conv1					
Latossolo Vermelho distrófico típico - LVd					
A	0 - 26 cm	2,5 YR 3/6	argilosa	forte pequena a muito pequena granular a grumosa	Cerrado tropical subcaducifólio
AB	26 - 39 cm	2,5 YR 4/8	argilosa	forte pequena a muito pequena granular	
Bw	39 cm+	2,5 YR 5/8	muito argilosa	forte pequena a muito pequena granular	
Perfil - Conv2					
Latossolo Vermelho distrófico típico - LVd					
A	0 - 15 cm	2,5 YR 3/4	argilosa	forte pequena a muito pequena grumosa	Cerrado tropical subcaducifólio
AB	15 - 33 cm	2,5 YR 3/6	argilosa	forte pequena a muito pequena granular	
Bw	33 cm+	2,5 YR 4/8	muito argilosa	forte pequena a muito pequena granular	

Tabela 3. Características químicas dos perfis dos solos.

Perfis	Horiz.	pH		Δ pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	$H+Al^{3+}$	T	K^+	P	m	V
		KCl	H ₂ O										
Latosolos Vermelhos Distróficos típicos - LVd													
Org	Bw	5,40	5,50	-0,10	0,90	0,20	0,00	3,60	4,70	17,00	1,00	0,00	23,00
Conv1	Bw	5,30	5,40	-0,10	0,10	0,10	0,00	3,10	3,40	29,00	1,00	0,00	9,00
Conv2	Bw	5,60	5,40	0,20	0,20	0,10	0,00	4,00	4,30	19,00	1,00	0,00	7,00

III.3 – Indicadores Físicos de Qualidade do Solo

Nas unidades produtivas avaliadas (Org, Conv1 e Conv2), os valores obtidos para a densidade do solo (Ds) oscilaram entre 0,82 kg dm⁻³ e 0,93 kg dm⁻³ para ambas as profundidades avaliadas, conforme mostram os dados apresentados na tabela 4 .

A Ds não diferiu nas profundidades avaliadas de 0-10 e 20-30 cm entre os sistemas Org, Conv1 e Conv 2 (Tabela 4). No entanto, na profundidade de 0-10 cm, a Ds dos sistemas de produção Org e Conv1 diferiram significativamente do sistema Conv2. Na profundidade de 20-30 cm, houve diferença significativa da Ds entre os sistemas convencionais (Conv1 e Conv2).

Apesar da menor densidade do solo ter ocorrido na área sob manejo Conv2, os valores apresentados pelos demais ficaram abaixo do limite crítico (ou de sustentabilidade) de $1,0 \text{ kg dm}^{-3}$ preconizados na literatura para Latossolos tropicais de textura argilosa (Goedert, 2005; Papa et al., 2011). Possivelmente, a incorporação em profundidade de elevadas quantidades de esterco, compostos orgânicos e/ou adubos verdes que ocorrem nessas unidades produtivas, associada à forte estrutura dos Latossolos, podem ter contribuído para os valores de Ds encontrados. Essa mesma hipótese pode justificar a inexistência de sinais de compactação, também, em subsuperfície (profundidade de 20–30 cm), mesmo ocorrendo intenso tráfego de máquinas com implementos durante o preparo do solo para o cultivo do morango ao longo de canteiros.

A falta de variação da Ds, nas profundidades de 0-10 cm e de 20-30 cm, nos sistemas de produção estudados (Tabela 4), pode indicar similaridade quanto aos efeitos do manejo do solo nas duas profundidades avaliadas. Araújo et al. (2007) fizeram observação semelhante em Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes usos, na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal.

Embora o uso intensivo do solo possa comprometer alguns dos seus atributos físicos, isso nem sempre acontece, uma vez que depende do manejo adotado durante o desenvolvimento das culturas. Pereira et al. (2010) concluíram que a densidade do solo não sofreu alteração tanto para o plantio convencional como para a semeadura direta de milho com cobertura de crotalária (*Crotalaria juncea* L.), não diferenciando, portanto, esses dois sistemas de produção para esse atributo físico de qualidade dos solos. Kamiyama et al. (2011) comparando áreas sob sistemas orgânico e convencional de produção de olerícolas, em duas regiões do Estado de São Paulo, não verificaram diferenças de Ds entre os sistemas, atribuindo tal fato à semelhança do tipo de preparo do solo, realizado com enxada rotativa.

Os resultados para a Ds indicam não haver restrição, em nenhum dos sistemas produtivos de morango avaliados, para o pleno desenvolvimento radicular e para o fluxo de água e ar no solo (Reichert et al., 2003).

Para a estabilidade de agregados (EA), os resultados expressos pelo diâmetro médio ponderado (DMP), encontram-se na tabela 4.

Apesar da área sob manejo orgânico ter apresentado os maiores valores para de DMP (2,47 mm na profundidade de 0-10 cm e 2,30 mm na de 20-30 cm), esta não

diferiu estatisticamente das áreas sob manejo convencional na profundidade de 0-10 cm (Tabela 4), concordando com os resultados obtidos por Kamiyama et al. (2011).

Tabela 4. Valores de densidade do solo e estabilidade de agregados, nas áreas avaliadas sob diferentes sistemas de produção de morango.

Unidades Produtivas ¹	Profundidade (cm)	
	0-10	20-30
	Densidade do solo (kg dm ⁻³)	
Org	0,93aA	0,89aAB
Conv1	0,92aA	0,93aA
Conv2	0,82aB	0,82aB
CV ² (%)	7,49	9,52
	Estabilidade de agregados (DMP ³)	
Org	2,47aA	2,30aA
Conv1	2,29aA	2,28aA
Conv2	2,36aA	1,96bB
CV (%)	8,42	9,67

⁽¹⁾ Sistema orgânico (Org); sistema convencional após pastagem (Conv1); sistema convencional em rotação com olerícolas (Conv2). ⁽²⁾ Coeficiente de variação (CV). ⁽³⁾ DMP: diâmetro médio ponderado (máximo de 3,00 mm) Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúscula nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Já na profundidade de 20-30 cm, o DMP foi significativamente superior no Org em relação ao Conv2, mas não em relação ao Conv1 (Tabela 4). Maiores valores de DMP também foram observados por Lima et al. (2007) e Valarini et al. (2011) em áreas cultivadas sob manejo orgânico.

Com exceção da área sob sistema de produção Conv2, os demais sistemas de manejo (Org e Conv1) influíram de maneira semelhante entre as camadas avaliadas (Tabela 4).

Embora o efeito mais nocivo sobre os agregados do solo seja atribuído aos sistemas de manejo que adotam revolvimento intensivo do solo (USDA, 2008), isso não foi constatado neste estudo, uma vez que os valores de DMP encontrados foram elevados e se aproximam dos valores referenciais para Latossolos do cerrado relatados por Papa et al. (2011). Pode ter contribuído para isso, o grande aporte de carbono orgânico, a rotação de culturas, a cobertura do solo com mulching de polietileno, bem como o elevado teor de argila encontrado nos solos das áreas. A capacidade agregante do sistema radicular da gramínea *Brachiaria* spp., que ocupou por 12 anos a área sob o sistema Conv1, é um outro fator que pode ter contribuído para uma elevada DMP nesta

área, principalmente na camada subsuperficial de 20-30 cm, onde praticamente não houve alteração em relação à camada superficial. Essa justificativa para os valores de DMP encontrados no Conv1 encontra apoio no estudo com gramíneas conduzido por Pignataro Netto et al. (2009), no qual não foram verificadas diferenças significativas no DMP entre as profundidades avaliadas.

De maneira geral, os estudos apontam que sistemas que requerem manejo intensivo provocam diminuição do tamanho dos agregados e na sua estabilidade em água (Alvarenga et al., 1999; Wendling et al., 2005; Aratani et al., 2009). Valarini et al. (2011) concluíram que, em geral, as práticas agrícolas utilizadas na maioria das unidades produtivas com hortaliças sob sistemas orgânico e convencional favoreceram a degradação do solo, devida principalmente ao revolvimento intensivo e à ausência de cobertura do solo. Entretanto, Silva et al. (2005) verificaram que sistema convencionais de cultivo com pouco tempo de implantação não alteraram a EA o suficiente para diferir do cerrado nativo e Morris (2007) constatou que, mesmo com a utilização frequente de implementos como a enxada rotativa, o que resultaria numa maior pulverização do solo, houve uma elevada estabilidade de agregados em áreas sob sistema orgânico.

A agregação resulta do rearranjo, floculação e cimentação das partículas do solo, sendo mediada pelo carbono orgânico do solo, biota, ponte iônica, argila e carbonatos (Bronick & Lal, 2005). Semelhante ao que foi observado neste estudo (Tabela 5 e 6), Raij (1991); Bronick & Lal (2005) e Silva, (2010) verificaram que a EA apresentou correlação significativa ($p < 0,01$) com os nutrientes Ca^{2+} e Mg^{2+} , considerados agentes cimentantes importantes para a manutenção da estabilidade estrutural do solo. Enquanto isso, apesar da matéria orgânica do solo ser considerada fundamental na estabilização dos agregados (Bayer & Mielniczuk, 1999), não se observou correlação significativa com este atributo (Tabela 6). Tal fato pode estar relacionado ao tipo de carbono orgânico presente no solo, cuja eficiência em formar agregados estáveis depende da sua taxa de decomposição (Bronick & Lal, 2005).

De acordo com Campos et al. (2010), a composição mineralógica da fração argila dos Latossolos do Distrito Federal constituída predominantemente por sesquióxidos de alumínio (gibbsita), juntamente com sesquióxidos de Fe proporciona bons índices de agregação, principalmente nos Latossolos Vermelhos que apresentaram maior DMP em relação aos Latossolos Vermelho-Amarelos.

Em que pese as diferenças de manejo entre os sistemas avaliados e sua ação sobre a agregação do solo, pode-se inferir, de modo geral, que os valores obtidos para o

DMP revelam o elevado estado de estruturação dos solos estudados, bem como a capacidade dos agregados de resistir à desintegração quando submetidos a diferentes situações de estresse associadas ao preparo do solo e à erosão hídrica ou eólica. De acordo com Vezzani & Mielniczuk (2009), quando o sistema de produção agrícola possibilita que o fluxo de carbono seja alto, ou seja, com a entrada de grande quantidade de compostos orgânicos por meio do cultivo de plantas, o sistema solo tem condições de se auto-organizar em macroagregados e com grande capacidade de reter a energia e a matéria adicionada na forma de C.

Tabela 5. Teores de potássio, fósforo, cálcio e magnésio nas áreas de estudo.

Unidades Produtivas ¹	K ⁺	P	Ca ²⁺	Mg ²⁺
	-----mg dm ⁻³ -----		----cmol _c dm ⁻³ ----	
-----0-10 cm-----				
Org	317,56	84,08	5,88	2,29
Conv1	158,11	107,63	5,59	2,41
Conv2	437,56	63,30	6,46	1,53
-----20-30 cm-----				
Org	290,22	12,53	4,23	1,26
Conv1	145,44	10,53	2,88	1,11
Conv2	417,56	18,47	4,29	0,92

III.4 – Indicadores Químicos de Qualidade do Solo

A matéria orgânica (MO) é um importante indicador de qualidade do solo, pois influencia vários processos no solo incluindo a infiltração, aeração e ciclagem de nutrientes (Karlen et al., 2006; Doran & Parkin, 1994). Para Gregorich et al. (1994) a MO tem um significado particular para a qualidade do solo por ser capaz de influenciar outros atributos de qualidade, como acontece com a CTC nos solos da região do Cerrado, onde a baixa atividade da fração argila faz com que esta dependa essencialmente da MO do solo (Sousa & Lobato, 2004; Sousa & Rein, 2009).

Tabela 6. Coeficientes de correlação de Pearson entre os atributos químicos, físicos e biológicos dos solos das áreas de estudo.

Atributos ¹	pH	MO	CTC	V	K ⁺	P	Beta-Glicosidase	Fosfatase ácida	CE	Ds	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al ³⁺
MO	ns												
CTC	-0.42**	0.81**											
V	0.53**	0.42**	ns										
K ⁺	-0.51**	0.40**	0.55**	ns									
P	ns	0.59**	0.59**	0.48**	ns								
Beta-Glicosidase	ns	0.67**	0.75**	0.29*	ns	0.78**							
Fosfatase ácida	ns	ns	ns	ns	-0.30*	0.51**	0.51**						
CE	-0.74**	0.41**	0.67**	ns	0.63**	ns	0.32*	ns					
Ds	0.39**	ns	-0.30*	ns	-0.51**	ns	ns	ns	-0.52**				
Ca ²⁺	ns	0.85**	0.92**	0.56**	0.41**	0.67**	0.72**	ns	0.49**	ns			
Mg ²⁺	0.36**	0.58**	0.48**	0.76**	ns	0.82**	0.65**	0.40**	ns	ns	0.68**		
H+Al ³⁺	-0.77**	0.28*	0.60**	-0.64**	0.46**	ns	0.31*	ns	0.69**	-0.37**	ns	-0.30*	
EA	ns	ns	ns	0.45**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.34*	0.46**	ns

Foram usadas todas as repetições das camadas de 0-10 cm e de 20-30 cm ($n=54$). ⁽¹⁾ MO: matéria orgânica do solo; CTC: capacidade de troca catiônica; V: saturação por bases; CE: condutividade elétrica; Ds: densidade do solo; EA: estabilidade de agregados. * e ** mostram os níveis de significância a 5% e 1%, respectivamente; ns: não significativo.

De acordo com os resultados apresentados na tabela 7, a matéria orgânica (MO) variou de 49,0 g kg⁻¹ a 53,1 g kg⁻¹ na profundidade de 0-10 cm, não diferindo estatisticamente entre os sistemas produtivos avaliados. Enquanto isso, para a camada de 20-30 cm, a MO variou de 35,8 g kg⁻¹ a 46,2 g kg⁻¹, sendo superior nas áreas sob manejo Conv2 e Org, que por sua vez não diferiram significativamente entre si. Os maiores teores de MO nas áreas com o sistema Conv2 e Org, podem estar relacionados ao maior aporte de carbono orgânico via esterco, compostos orgânicos e restos vegetais de outras olerícolas e de adubos verdes. No caso do sistema Conv1, cuja área ficou ocupada durante 12 anos com pastagem sem qualquer manejo, possivelmente a entrada de carbono orgânico via esterco para a implantação do cultivo e via biomassa da pastagem não foram suficientes para elevar o teor de MO ao patamar dos demais sistemas. De acordo com Oliveira et al. (2003) e Corrêa et al. (2007), a adubação química do solo e o manejo das forrageiras exploradas, contribuem para melhorar a produtividade da pastagem.

Gliessman et al. (1996) conduziram um experimento por três anos seguidos com sistemas de produção orgânico e convencional de morango, na Califórnia, e constataram que o conteúdo de matéria orgânica foi significativamente maior no terceiro ano para o sistema orgânico, possivelmente em função do uso de adubos orgânicos.

O teor de MO foi estatisticamente diferente entre as camadas de 0-10 cm e de 20-30 cm para todas as áreas, o que pode ser resultado tanto de uma incorporação mais superficial do carbono orgânico como da influência das raízes do morangueiro nos primeiros 20 cm. Pignataro Netto et al. (2009) também observaram diferenças para a MO entre as profundidades avaliadas, com os maiores valores ocorrendo na camada de 0-5 cm.

Os elevados valores obtidos para a MO, demonstram haver semelhança entre os sistemas avaliados (Org, Conv1 e Conv2) para esse indicador de qualidade do solo, discordando dos resultados obtidos por Reganold et al. (2010) que verificaram superioridade dos sistemas orgânicos de produção de morango em relação aos convencionais quanto aos teores de MO, tanto na profundidade de 0-10 cm como na de 20-30 cm. Kamiyama et al. (2011) também obtiveram resultados superiores para MO em áreas de produção de olerícolas sob sistema orgânico em relação às áreas conduzidas sob sistema convencional.

Tabela 7. Valores de matéria orgânica, de capacidade de troca catiônica (CTC) e de condutividade elétrica nas áreas avaliadas sob diferentes sistemas de produção de morango.

Unidades Produtivas ¹	Profundidade (cm)	
	0-10	20-30
	Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	
Org	52,1aA	43,6bA
Conv1	49,0aA	35,8bB
Conv2	53,1aA	46,2bA
CV ² (%)	8,02	9,27
	CTC (cmol _c dm ⁻³)	
Org	10,92aB	8,80bA
Conv1	11,24aB	6,68bB
Conv2	14,10aA	9,89bA
CV (%)	7,04	11,44

⁽¹⁾ Sistema orgânico (Org); sistema convencional após pastagem (Conv1); sistema convencional em rotação com olerícolas (Conv2). ⁽²⁾ Coeficiente de variação (CV). Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Carneiro et al. (2009) constataram que os sistemas de manejo que têm promovido maiores adições de resíduos ao solo, apresentaram maiores teores de carbono orgânico total, o que também pode ser justificado pelo fato de a proteção física da MO ser superior em Latossolos.

No estudo de qualidade do solo envolvendo sistemas orgânicos e convencionais de hortaliças, Valarini et al. (2011) obtiveram valores de MO variando de 33,6 g L⁻¹ (sistema orgânico) a 34,6 g L⁻¹ (sistema convencional) para a região de Ibiúna, e de 37,0 g L⁻¹ (orgânico) a 42,2 g L⁻¹ (convencional) para a região de Socorro, todas no estado de São Paulo. Além dos valores entre os sistemas terem se aproximado, a MO ficou abaixo dos valores das áreas de mata nativa.

Os resultados para a MO encontrados neste estudo são, em sua maioria, considerados sustentáveis de acordo com os níveis críticos de qualidade de solo em Latossolos tropicais de textura argilosa propostos por Goedert (2005) e Papa et al. (2011).

Para a capacidade de troca de cátions (CTC), com exceção dos sistemas Conv2 na profundidade de 0-10 cm e Conv1 na de 20-30 cm, os resultados demonstram não haver diferenças significativas entre os demais sistemas. Contudo, verifica-se que houve diferença significativa entre as profundidades estudadas para todos os sistemas. (Tabela

7). Observam-se, também, tendências similares da variação dos valores de CTC com os teores de matéria orgânica (MO) ao longo dos sistemas produtivos e profundidades analisadas, corroborada por uma elevada e significativa correlação ($p < 0,01$) entre esses atributos (Tabela 6). Araújo et al. (2007) também constataram tendência semelhante em seu trabalho.

Os valores da CTC para a camada de 0-10 cm variaram entre $10,92 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $14,10 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, enquanto para a camada de 20-30 cm variaram entre $6,68 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ a $9,89 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, o que demonstra uma redução significativa em profundidade (Tabela 7). A área sob sistema de cultivo do morango após outras olerícolas (Conv2) apresentou os maiores valores para este indicador em ambas as profundidades, tendo diferido significativamente dos demais sistemas (Org e Conv1) na profundidade de 0-10 cm, mas não diferindo do sistema orgânico (Org) na camada de 20-30 cm. Em todas as áreas, os valores na profundidade de 0-10 cm foram significativamente superiores àqueles encontrados na de 20-30 cm. Infere-se com isso que, os efeitos do manejo durante a preparação dos canteiros (homogeneização) e posteriormente com os tratamentos culturais (adubações) foram mais pronunciados na camada superficial do solo. Pignataro Netto et al. (2009) também relataram que a maior quantidade da matéria orgânica na superfície pode ter contribuído para a ocorrência de uma CTC maior na camada de 0-5 cm em relação à de 5-20 cm, em áreas sob diferentes sistemas de manejo com gramíneas.

Ao contrário do que foi constatado neste estudo, Costa et al. (2006) e Araújo et al. (2007) não verificaram diferenças significativas entre as profundidades para sistemas de produção onde houve revolvimento anual do solo.

Em estudo conduzido na Nova Zelândia sobre qualidade do solo em propriedades sob sistema de produção biodinâmico e convencional, Reganold et al. (1993) constataram que, em geral, a CTC foi superior nas áreas com sistema biodinâmico. Já Glover et al. (2000) não encontraram diferenças significativas da CTC entre sistemas de manejo convencional, integrado e orgânico em pomares de maçã. Kamiyama et al. (2011) também não observaram diferenças significativas para esse indicador entre sistemas orgânico e convencional de produção de hortaliças.

Os resultados e o comportamento da CTC entre os sistemas orgânico e convencional de hortaliças obtidos por Valarini et al. (2011), são similares aos observados neste trabalho.

Verifica-se que, em geral, os valores observados para a CTC em todas as áreas foram superiores ou ficaram próximos a $10 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, valor considerado sustentável para Latossolos de textura argilosa, segundo Goedert (2005) e Papa et al. (2011).

A condutividade elétrica do solo (CE) foi significativamente superior na área sob sistema convencional em rotação com olerícolas (Conv2) tanto na profundidade de 0-10 cm como na de 20-30 cm (Tabela 7). Apesar da área sob sistema orgânico (Org) ter apresentado valor superior para ambas as profundidades em relação à área sob sistema convencional após pastagem (Conv1), elas não diferiram entre si.

Glover et al. (2000) não encontraram diferenças significativas para a CE entre os sistemas de produção orgânico e convencional de maçãs. No entanto, verificaram que o sistema de produção integrado apresentou CE significativamente superior aos demais sistemas (orgânico e convencional) para as amostras superficiais. Apesar das diferenças estatísticas, os autores não observaram efeitos prejudiciais sobre o crescimento ou produtividade das macieiras para o sistema integrado, até porque a CE não atingiu o valor crítico considerado que foi de 1,0 dS/m.

A condutividade elétrica (CE) apresentou correlação significativa ($p < 0,01$) (Tabela 6) com a CTC e com K^+ , o que sustenta a hipótese da CE encontrada na área com sistema Conv2 ter sido afetada pelo uso excessivo de fertilizantes. Apesar de não ser uma prática rotineira, segundo informações obtidas junto ao produtor, a adubação para a cultura do morango ocorreu sem uma prévia análise de solo, o que pode ter contribuído para o cometimento de excessos, conforme se depreende dos valores da tabela 5. Para solos do Cerrado com CTC maior ou igual a $4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, teores de K acima de 80 mg dm^{-3} são considerados altos (Sousa & Lobato, 2004). Segundo Sousa & Rein (2009), altas concentrações de adubos potássicos, decorrentes da aplicação de quantidades maiores, distribuídas em pequenos volumes de solo, favorecem a perda por lixiviação, além do risco de salinidade. Valarini et al (2007) verificaram que, em função da aplicação maciça de adubos mineirais, os nutrientes Ca^{2+} , K^+ e Mg^{2+} apresentaram teores bem acima da média recomendada para tomates em sistemas convencionais, com reflexos na alta concentração de sais, verificada pela condutividade elétrica (CE). Os valores obtidos por Kamiyama et al. (2011) para os nutrientes P e K^+ , foram considerados altos e muito altos, tanto para áreas sob sistema orgânico, como nas áreas sob sistema convencional de olerícolas.

Embora o morango seja considerado uma planta sensível ao excesso de sais no solo (Karlidag et al., 2009), cujo valor crítico segundo a FAO (2002) é a partir de 1,0 dS

m^{-1} , não foram observados efeitos deletérios desse indicador sobre a produtividade da cultura do morango nas áreas avaliadas, até mesmo naquela sob o sistema Conv2, onde os valores chegaram a $3,20 \text{ dS m}^{-1}$ na profundidade de 0-10 cm e de $1,44 \text{ dS m}^{-1}$ na de 20-30 cm. Em estudo realizado no campus da Universidade de São Paulo, Medeiros et al. (2009) verificaram para a cultura do pepino que a produtividade máxima dessa cultura foi atingida para o nível de salinidade de $3,5 \text{ dS m}^{-1}$ e que apenas acima de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ a produtividade começaria a cair. Ainda segundo os autores, a literatura informa que a salinidade limiar para essa cultura era de $2,5 \text{ dS m}^{-1}$.

A falta de estudos científicos envolvendo esse indicador nas condições brasileiras e para culturas como o morango, onde há elevadas entradas de sais fertilizantes, impossibilita saber qual o nível crítico tolerável de salinidade suportado por essa cultura. De todo modo, segundo Embrapa (2006), a CE capaz de interferir no desenvolvimento da maioria das culturas deve ser igual ou maior que $4,0 \text{ dS m}^{-1}$, valor esse não alcançado por nenhuma das áreas.

III.5 – Indicadores Biológicos de Qualidade do Solo

A atividade da enzima beta-glicosidase (BG) não diferiu significativamente entre os sistemas na profundidade de 0-10 cm, mas diferiu na profundidade de 20-30 cm, com o sistema convencional em rotação com olerícolas (Conv2) apresentando atividade superior aos demais (Conv1 e Org) (Tabela 8). Verifica-se que a atividade da BG variou significativamente entre as profundidades para todas as áreas avaliadas, concordando com o trabalho de Green et al. (2007), e que o seu comportamento foi bastante similar com o da matéria orgânica (MO) e CTC, sendo confirmado por uma correlação significativa ($p < 0,01$) com esses atributos (Tabela 6). Tais correlações também foram observadas por Acosta-Martinez & Tabatabai (2000). De acordo com Matsuoka et al. (2003), a entrada de matéria orgânica com maior proporção de C prontamente mineralizável em sistemas cultivados, explicaria a maior atividade da enzima beta-glicosidase, já que ela atua sobre a celobiose que é um dissacarídeo de rápida decomposição no solo.

Embora a beta-glicosidase possa se mostrar altamente correlacionada com o C orgânico do solo, isso nem sempre acontece. Concordando em parte com os relatos de Green et al. (2007) e Stott et al. (2010), verifica-se que a BG além de estar correlacionada com a MO, esteve fortemente correlacionada com o P do solo (Tabela 6), por ser esse, segundo os autores, um nutriente limitante nos Latossolos do Cerrado.

A atividade da fosfatase ácida (FA) foi elevada em todas as áreas, com destaque para a área sob sistema convencional após pastagem (Conv1), cuja atividade enzimática foi significativamente superior aos demais sistemas na profundidade de 0-10 cm (Tabela 8). Já para a camada de 20-30 cm, o sistema Conv1 diferiu do sistema orgânico (Org), mas esse último não diferiu do sistema Conv2.

Tabela 8. Valores da atividade das enzimas beta-glicosidase e fosfatase ácida nas áreas avaliadas sob diferentes sistemas de produção de morango.

Unidades Produtivas ¹	Profundidade (cm)	
	0-10	20-30
	Beta-glicosidase, $\mu\text{g } \rho$ -nitrofenol $\text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$	
Org	189,01aA	87,37bB
Conv1	218,85aA	79,84bB
Conv2	203,88aA	135,03bA
CV ² (%)	15,78	32,05
	Fosfatase ácida, $\mu\text{g } \rho$ -nitrofenol $\text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$	
Org	882,3aB	765,4aB
Conv1	1800,2aA	1096,3bA
Conv2	1083,7aB	999,7aAB
CV (%)	17,82	25,74

⁽¹⁾ Sistema orgânico (Org); sistema convencional após pastagem (Conv1); sistema convencional em rotação com olerícolas (Conv2). ⁽²⁾ Coeficiente de variação (CV). Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Contrariando a maioria dos relatos da literatura (Matsuoka et al., 2003; Mendes et al., 2003; Balota et al., 2004), verifica-se que houve uma correlação positiva significativa ($p < 0,01$) do teor de P com a atividade da FA (Tabela 6). Segundo Conte et al. (2002), a alta afinidade do P com os colóides organominerais do solo favorece a adsorção dos ânions fosfato, reduzindo seu efeito inibidor sobre a atividade da FA. No entanto, segundo Dick (1994), é difícil estabelecer correlações entre a bioquímica e a química do solo em áreas onde a entrada de nutrientes via adubação é elevada.

Verifica-se, ainda, uma significativa intercorrelação entre as enzimas BG e FA (Tabela 6). Deng & Tabatabai (1997) também relataram que as atividades das enzimas fosfatase e arilsulfatase estavam significativamente intercorrelacionadas, com r variando de 0,50 a 0,92.

Apesar de não ter apresentado correlação significativa com a MO (Tabela 6), vários trabalhos chamam a atenção para a influência do C orgânico sobre a atividade da

enzima fosfatase ácida (Acosta-Martinez & Tabatabai, 2000; Makoi & Ndakidemi, 2008; Vinhal-Freitas et al., 2010).

Com exceção da área sob sistema Conv1, a atividade da FA não diferiu entre as profundidades de 0-10 cm e 20-30 cm (Tabela 8), concordando com relato de Green et al. (2007) de que o revolvimento do solo durante o cultivo reduz a estratificação da atividade enzimática no perfil do solo.

Em geral, é bem aceita a tese de que, práticas agrícolas que promovem um intenso revolvimento do solo resultam em baixa atividade microbiana (Gupta & Germida, 1988), porém, independentemente do sistema de manejo, os resultados deste estudo para BG e FA indicam uma elevada atividade biológica nos solos sob cultivo do morango. Com exceção da elevada atividade da FA, cuja média foi de 2.421 $\mu\text{g } p\text{-nitrofenol g}^{-1}$ de solo h^{-1} , observada por Mendes & Vivaldi (2001) numa área de Cerradão localizada em Planaltina (DF), os valores médios das atividades da BG e da FA obtidas neste estudo, foram superiores àqueles registrados em diversos estudos envolvendo áreas cultivadas na região do Cerrado (Matsuoka et al., 2003; Mendes et al., 2003; Chaer & Tótola, 2007; Green et al., 2007; Silva et al., 2009).

III.6 – Custo de Produção e Rentabilidade

Em função do severo ataque de lagarta-rosca (*Agrotis ipsilon*), que resultou em queda significativa da produtividade na unidade produtiva sob sistema convencional de produção de morango após pastagem (Conv1), serão considerados neste estudo, para efeitos de análises econômicas, os custos de produção das áreas sob sistema orgânico (Org) e sob sistema convencional de produção de morango em rotação com olerícolas (Conv2). Henz et al. (2009) relatam que a lagarta-rosca está entre as pragas de maior ocorrência nos morangueiros do Distrito Federal.

Os custos variáveis de produção (CV) das áreas sob os sistemas Conv2 e Org são apresentados nas tabelas 9 e 10. De acordo com os resultados, os custos dos sistemas Conv2 e Org atingiram, respectivamente, R\$ 84.137,38 e R\$ 71.719,78 por hectare. Todavia, a produtividade da área sob o sistema Conv2 foi de 42.000 kg ha^{-1} , cerca de 3 vezes a produtividade obtida pelo sistema Org, que foi de 14.144 kg ha^{-1} , resultando num menor custo/kg de morango produzido. Tais produtividades são similares àquelas relatadas no trabalho de Henz (2010) para sistema convencional e de Castro et al. (2003) para sistema orgânico de morango. Madail et al. (2007) observaram

que o custo de produção de um hectare de morango em transição do sistema convencional para o integrado alcançou R\$ 75.767,80.

Verificam-se distintas formas de contratação de mão-de-obra nas áreas estudadas, vigorando no sistema Conv2 o contrato de parceria, onde a remuneração dos empregados consiste em 30% da receita bruta, enquanto no sistema Org ocorre o contrato por tempo indeterminado, com pagamento de salário mensal e recolhimento de encargos sociais, que somados chegam a R\$ 1.250,00. Apesar dessas diferenças, a participação da mão-de-obra nos custos foi semelhante, compondo 45,00% no sistema Conv2 e 48,50% no sistema Org, sendo, portanto, o item que mais impactou o custo de produção (Tabelas 9 e 10). Henz (2010) relata em seu estudo sobre o diagnóstico da cadeia produtiva do morango no Distrito Federal (DF) a grande necessidade de mão-de-obra para os tratos culturais, especialmente na instalação da cultura e na colheita. Ainda segundo o mesmo autor, e com base nos dados da Emater-DF, o custo estimado de execução de serviços e de mão-de-obra no DF é cerca de 40% do custo total.

Além da mão-de-obra, outros itens de grande peso nos custos de produção do morango foram: as embalagens (Org = 12,11% e Conv2 = 25,33%); as mudas (Org = 15,34% e Conv2 = 14,29%); fertilizantes (Org = 9,15% e Conv2 = 6,40%); mulching de polietileno (Org = 3,44% e Conv2 = 0,74%); energia elétrica (Org = 2,55% e Conv2 = 1,67%); e produtos fitossanitários (Org = 0,87% e Conv2 = 2,08%). Verifica-se distribuição similar desses itens de dispêndio no trabalho de Henz (2010).

Tabela 9. Custo variável de produção de 1 hectare de morango sob sistema convencional 2 (Conv2).

Discriminação	R\$ ha ⁻¹	R\$ kg ⁻¹	Part. (%) ¹
I - Despesas de custeio			
1 - Aluguel de máquinas/serviços	810,00	0,02	0,96%
2 - Mão-de-obra	37.800,00	0,90	45,00%
3 - Mudas	12.000,00	0,29	14,29%
4 - Fertilizantes	5.373,58	0,13	6,40%
5 - Agrotóxicos	1.746,00	0,04	2,08%
6 - Despesas administrativas	1.792,49	0,04	2,13%
7 - Mulching de polietileno	620,00	0,01	0,74%
8 - Energia elétrica	1.400,00	0,03	1,67%
9 - Outros itens (cumbucas, caixas e filme de PVC)	21.272,71	0,50	25,33%
Total das despesas de custeio	82.814,78	1,96	98,59%
II - Despesas financeiras			
1 - Juros	1.322,60	0,03	1,41%
Total das despesas financeiras	1.322,60	0,03	1,41%
Custo variável	84.137,38	1,99	100,00%

⁽¹⁾ Part. (%) = percentual de participação sobre o custo variável.

Apesar da área Conv2 ter apresentado receita bruta (RB) superior à área Org, a margem bruta (MB) dessa última foi 9,45% maior do que a primeira (Tabela 11). O ponto de equilíbrio (PE), que diz respeito à produtividade necessária para igualar o custo variável (CV) e a receita, foi de 8.631 kg ha⁻¹ no sistema orgânico e de 28.046 kg ha⁻¹ no convencional. Como consequência desses resultados, o sistema orgânico também mostrou superioridade no índice de rentabilidade (IR), que foi de 1,64, enquanto no sistema convencional foi de 1,50. Isso significa que, para cada R\$1,00 investido na cultura o produtor orgânico recebeu como retorno R\$1,64, enquanto o produtor convencional recebeu R\$1,50. A superioridade na rentabilidade do sistema orgânico se deve, em grande parte, ao fato de haver um prêmio embutido ao preço do morango recebido pelo produtor, cuja diferença pode ultrapassar 100% do preço médio recebido pelo produtor convencional. Reganold et al. (1993), constataram maiores rentabilidades em áreas conduzidas sob sistemas orgânicos.

Tabela 10. Custo variável de produção de 1 hectare de morango sob sistema orgânico (Org).

Discriminação	R\$ ha ⁻¹	R\$ kg ⁻¹	Part. (%) ¹
I - Despesas de custeio			
1 - Operação com máquinas próprias	118,95	0,01	0,17%
2 - Aluguel de máquinas/serviços	748,45	0,05	1,04%
3 - Mão-de-obra	34.783,75	2,45	48,50%
4 - Mudas	11.000,00	0,78	15,34%
5 - Fertilizantes	6.560,84	0,40	9,15%
6 - Defensivos biológicos	627,16	0,02	0,87%
7 - Despesas administrativas	1.797,11	0,13	2,51%
8 - Mulching de polietileno	2.469,74	0,17	3,44%
9 - Análise de solo	174,00	0,01	0,24%
10 - Energia elétrica	1.827,91	0,13	2,55%
11 - Outros itens (Embalagens)	8.683,38	0,58	12,11%
Total das despesas de custeio	68.791,29	4,73	95,92%
II - Despesas financeiras			
1 - Juros	2.928,49	0,21	4,08%
Total das despesas financeiras	2.928,49	0,21	4,08%
Custo variável	71.719,78	4,94	100,00%

⁽¹⁾ Part. (%) = percentual de participação sobre o custo variável.

Tabela 11. Produtividade (Prod), custo variável (CV), receita bruta (RB), margem bruta (MB), ponto de equilíbrio (PE) e índice de rentabilidade (IR).

Sistema de cultivo ¹	Prod	CV	RB	MB	PE	IR
	kg ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹			kg ha ⁻¹	
Org	14.144	71.719,78	117.537,36	45.817,58	8.631	1,64
Conv2	42.000	84.137,38	126.000,00	41.862,62	28.046	1,50

⁽¹⁾ Org: sistema orgânico; Conv2: sistema convencional em rotação com olerícolas.

IV – CONCLUSÕES

1. Os indicadores físicos de qualidade do solo mostraram que, mesmo com a mobilização intensa do solo nos sistemas de produção orgânico (Org) e convencionais (Conv1 e Conv2) de morango, não houve comprometimento da densidade do solo e da estabilidade de agregados. Os valores observados para esses indicadores são, de maneira geral, considerados sustentáveis para Latossolos do Cerrado.

2. Os valores obtidos para a matéria orgânica e a CTC foram similares em todos os sistemas e ficaram próximos ou foram superiores aos limites-críticos estabelecidos para Latossolos do Cerrado.

3. O maior valor de condutividade elétrica foi registrado para o sistema convencional em rotação com olerícolas (Conv2), em função da elevada aplicação de fertilizantes, porém, não houve efeito deletério sobre a produtividade do morango neste sistema produtivo.

4. A atividade enzimática do solo, medida pela beta-glicosidase e fosfatase ácida, foi elevada em todos os sistemas, indicando que o solo das áreas apresentam boa qualidade biológica.

5. O sistema de produção orgânico (Org) de morango apresentou menor receita bruta, mas foi 9,43% mais rentável do que o sistema convencional (Conv2).

V – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA-MARTÍNEZ, V. & TABATABAI, M. A. Enzyme activities in a limed agricultural soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 31, p. 85-91, 2000.

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**, v. 23, n.3, p. 617-625, 1999.

ARATANI, R. G.; FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F. & ANDRIOLI, I. Qualidade física de um Latossolo Vermelho acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 677-687, 2009.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J. & LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1099-1108, 2007.

BALOTA, E. L.; KANASHIRO, M.; COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D. S. & DICK, R. P. Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotation systems in subtropical agro-ecosystems. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 35, p. 300-306, 2004.

BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A. & CAMARGO, F. A. O., eds. **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999.

BRONICK, C. J. & LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v. 124, p. 3-22, 2005.

CAMPOS, P. M., LACERDA, M. P. C., SILVA, C. L., Sá, M. A. C de & SOUSA D. M. G. de. A drenagem interna como fator de diferenciação dos Latossolos do Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 306-314, 2010.

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**, v. 33, p. 147-157, 2009.

CASTRO, R. L.; CASALI, V. W. D.; BARRELA, T. P.; SANTOS, R. H. S. & CRUZ, C. D. Produtividade de cultivares de morangueiro em sistema de cultivo orgânico. **Horticultura Brasileira**, v. 21, n. 2, p. 227-230, 2003.

CONTE, E.; ANGHINONI, I. & RHEINHEIMER, D. S. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatase ácida após aplicação de fosfato em solo no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 925-930, 2002.

CORRÊA, L. A.; CANTARELLA, H.; PRIMAVESI, A. C.; PRIMAVESI, O.; FREITAS, A. R. & SILVA, A. G. Efeito de fontes e doses de nitrogênio na produção e qualidade da forragem de capim-coastcross. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 763-772, 2007.

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

DENG, S. P. & TABATABAI, M. A. Effect of tillage and residue management on enzyme activities in soils: III. Phosphatases and arylsulfatase. **Biology and Fertility of Soils**, v. 24, p. 141-146, 1997.

DICK, R. P. Soil enzyme activities as indicators of soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F. & STEWART, B. A. (Ed.). Defining Soil Quality for a Sustainable Environment, **Soil Science Society of America**, Special Publication, Madison, 1994, p. 107-124.

DORAN, J. W. Soil health and global sustainability: translating science into practice. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 88, n. 2, p. 119-127, 2002.

DORAN, J. W. & PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. 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**, 1994. p.1-20. (Publication Number 35)

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2 ed. 2006. 412p.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas**. FAO Irrigation and Drainage Paper 61. FAO, Rome, 2002.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **FAOSTAT – Agricultural area 2009**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/377/DesktopDefault.aspx?PageID=377#ancor>>. Acesso em: 02 jan. 2012.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **UN FAO Stat Lande Use 2004**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/faostat/>>. Acesso em: 20 nov. 2010.

FREITAS-SILVA, F. H. & CAMPOS, J. E. G. 1998. Geologia do Distrito Federal. *In*: IEMA/SEMATEC/UnB. **Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal**. Relatório Técnico, 1, Brasília, pp.: 1-87.

GLIESSMAN, S. R.; WERNER, M. R.; SWEZEY, S. L.; CASWELL, E.; COCHRAN, J. & ROSADO-MAY, F. Conversion to organic strawberry management changes ecological processes. **California Agriculture**, v. 50, n. 1, p. 24-31, 1996.

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, Ecosystems and Environment**, v. 80, p. 29-45, 2000.

GOEDERT, W. J. **Qualidade do solo em sistemas de produção agrícola**. Anais do XXX CBCS, Recife-PE, SBCS, 2005.

GREEN, V. S.; STOTT, D. E.; CRUZ, J. C. & CURI, N. Tillage impacts on soil biological activity and aggregation in a Brazilian Cerrado Oxisol. **Soil & Tillage Research**, v. 92, p. 114-121, 2007.

GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R.; ANGERS, D. A.; MONREAL, C. M. & ELLERT, B. H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 74, p. 367-385, 1994.

GUPTA, V. V. S. R. & GERMIDA, J. J. Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregation size classes as affected by cultivation. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 20, p. 777-786, 1988.

HENZ, G. P. Desafios enfrentados por agricultores familiares na produção de morango no Distrito Federal. **Horticultura Brasileira**, v. 28, p. 260-265, 2010.

HENZ, G. P.; ARAÚJO, T. M. & PEREIRA, S. F. **Produção de morango no Distrito Federal**. Brasília, Embrapa Hortaliças, 2009. 88p.

KAMIYAMA, A.; MARIA, I. C.; SOUZA, D. C. C. & SILVEIRA, A. P. D. Percepção ambiental dos produtores e qualidade do solo em propriedades orgânicas e convencionais. **Bragantia**, v. 70, n. 1, p.176-184, 2011.

KARLEN, D. L.; HURLEY, E. G.; ANDREWS, S. S.; CAMBARDELLA, C. A.; MEEK, D. W.; DUFFY, M. D. & MALLARINO, A. P. Crop rotation effects on soil quality at three northern corn/soybean belt locations. **Agronomy Journal**, v. 98, p. 484-495, 2006.

KARLIDAG, H.; YILDIRIM, E. & TURAN, M. Salicylic acid ameliorates the adverse effect of salt stress on strawberry. **Scientia Agricola**, v. 66, n. 2, p. 180-187, 2009.

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**, v. 31, p. 1085-1098, 2007.

MADAIL, J. C. M.; ANTUNES, L. E.; JUNIOR, C. R.; BERLAMINO, L. C.; NEUTZLING, D. M.; SILVA, B. A. **Economia na produção de morango: estudo de caso de transição para produção integrada**. Embrapa Clima Temperado, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 53, 2007.

MÄDER, P.; FLEISSBACH, A.; DUBOIS, D.; GUNST, L.; FRIED, P. & NIGGLI, U. Soil fertility and biodiversity in organic farming. **Science**, v. 296, p. 1694-1697, 2002.

MALUCHE-BARETTA, C. R. D.; KLAUBERG-FILHO, O.; AMARANTE, C. V. T.; RIBEIRO, G. M. & ALMEIDA, D. Atributos microbianos e químicos do solo em sistemas de produção convencional e orgânico de maçãs no Estado de Santa Catarina. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 31, p. 655-665, 2007.

MAKOI, J. H. J. R. & NDAKIDEMI, P. Selected soil enzymes: examples of their potential roles in the ecosystem. **African Journal of Biotechnology**, v. 7, p. 181-191, 2008.

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C. & LOUREIRO, M. F. 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**, v.27, p.425-433, 2003.

MEDEIROS, P. R. F.; DUARTE, S. N. & DIAS, C. T. S. Tolerância da cultura do pepino à salinidade em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.4, p.406-410, 2009.

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**, v.27, p.435-443, 2003.

MENDES, I. C. & VIVALDI, L. Dinâmica da biomassa e atividade microbiana em uma área sob Mata de Galeria na região do DF. In: RIBEIRO, J. F. SILVA, J. C. S. &

LAZARINI, C. E., eds. **Conservação e recuperação da biodiversidade das Matas de Galeria do bioma Cerrado**. Planaltina, Embrapa Cerrados, 2001. p. 665-687.

MORRIS, M. L. M. **Avaliação da qualidade do solo sob sistema orgânico de cultivo**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2007, 82 p. Dissertação de Mestrado.

OLIVEIRA, P. P. A.; TRIVELIN, P. C. O. & OLIVEIRA, W. S. Eficiência da fertilização nitrogenada com uréia (¹⁵N) em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu associada ao parcelamento de superfosfato simples e cloreto de potássio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 613-620, 2003.

PAPA, R. A.; LACERDA, M. P. C.; CAMPOS, P. M.; GOEDERT, W. J.; RAMOS, M. L. G. & KATO, E. Qualidade de latossolos vermelhos e vermelho-amarelos sob vegetação nativa de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 4, p. 564-571, 2011.

PARDO, G.; AIBAR, J.; CAVERO, J. & ZARAGOZA, C. Economic evaluation of cereal cropping systems under semiarid conditions: minimum input, organic and conventional. **Sci. Agric.**, v. 66, p. 615-621, 2009.

PEREIRA, F. S.; ANDRIOLI, I.; BEUTLER, A. N.; ALMEIDA, C. X. & PEREIRA, F. S. Physical quality of an Oxisol cultivated with maize submitted to cover crops in the pre-cropping period. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 211-218, 2010.

PIGNATARO NETTO, I. T.; KATO, E. & GOEDERT, W. J. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1441-1448, 2009.

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

REGANOLD, J. P.; ANDREWS, P. K.; REEVE, J. R.; CARPENTER-BOGGS, L.; SCHADT, C. W.; ALLDREDGE, J. R.; ROSS, C. F.; DAVIES, N. M. & ZHOU, J. Fruit and soil quality of organic and conventional strawberry agroecosystems. **PlosOne**, v. 5, n. 9, 2010.

REGANOLD, J. P.; GLOVER, J. D.; ANDREWS, P. K. & HINMAN, H. R. Sustainability of three apple production systems. **Nature**, v. 410, p. 926-930, 2001.

REGANOLD, J. P.; PALMER, A. S.; LOCKHART, J. C. & MACGREGOR, A. N. Soil quality and financial performance of biodynamic and conventional farms in New Zealand. **Science**, v. 260, n. 5106, p. 344-349, 1993.

SAS Institute. SAS version 9.0. SAS Institute, Cary, NC, USA. 2002.

SILVA, A. S. Análise morfológica dos solos e erosão. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. & BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 5ª Ed., 2010, 340p.

SILVA, R. R.; SILVA, M. L. N. & FERREIRA, M. M. Atributos físicos indicadores de qualidade do solo sob sistemas de manejo na bacia do Alto do Rio Grande - MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 4, p. 719-730, 2005.

SOUSA, D. M. G. & LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. - Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.

SOUSA, D. M. G. & REIN, T. A. Manejo da fertilidade do solo para culturas anuais: experiências no Cerrado. **Informações Agronômicas**, n. 126, 2009.

STOTT, D. E.; ANDREWS, S. S.; LIEBIG, M. A.; WIENHOLD, B. J. & KARLEN, D. L. Evaluation of β -Glucosidase activity as a soil quality indicator for the Soil Management Assessment Framework. **Soil Science Society of America Journal**, v. 74, n. 1, p. 107-119, 2010.

TILMAN, D.; CASSMAN, K. G.; MATSON, P.; NAYLOR, R. & POLASKY, S. Agricultural sustainability and intensive production practices. **Nature**, v. 418, p. 671-677, 2002.

TREWAVAS, A. A critical assessment of organic farming-and-food assertions with particular respect to the UK and the potential environmental benefits of no-till agriculture. **Crop Protection**, v. 23, p. 757-781, 2004.

USDA - United States Department of Agriculture. **Soil quality indicators: aggregate stability**. 2008.

VALARINI, P. L.; FRIGHETTO, R. T. S.; SCHIAVINATO, R. J.; CAMPANHOLA, C.; SENA, M. M.; BALBINOT, L. & POPPI, R. J. Análise integrada de sistemas de produção de tomateiro com base em indicadores edafobiológicos. **Horticultura Brasileira**, v. 25, p. 60-67, 2007.

VALARINI, P. L.; OLIVEIRA, F. R. A.; SCHILICKMANN, S. F. & POPPI, R. J. Qualidade do solo em sistemas de produção de hortaliças orgânico e convencional. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 4, p. 485-491, 2011.

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

VINHAL-FREITAS, WANGEN, D. R. B.; FERREIRA, A. S.; CORRÊA, G. F. & WENDLING, B. Microbial and enzymatic activity in soil after organic composting. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 757-764, 2010.

WENDLING, B.; JUKSCH, I.; MENDONÇA, E. S. & NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 5, p. 487-494, 2005.

YOUKER, R. E. & MCGUINNESS, J. L. A short method of obtaining mean weight-diameter values of aggregate analyses of soils. **Soil Science**, v. 83, p. 291-294, 1956.