



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SOLOS E QUALIDADE
DE ECOSISTEMAS, CURSO DE MESTRADO

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO EM DIFERENTES
SISTEMAS DE USO E MANEJO AGRÍCOLA
EM AMBIENTE TROPICAL**

JOAQUIM FRANCISCO MONTEIRO

CRUZ DAS ALMAS - BAHIA
DEZEMBRO - 2012

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO EM DIFERENTES
SISTEMAS DE USO E MANEJO AGRÍCOLA
EM AMBIENTE TROPICAL**

JOAQUIM FRANCISCO MONTEIRO

Engenheiro Agrônomo

Universidade Eduardo Mondlane
Moçambique, 2005

Dissertação submetida ao Colegiado de Curso do Programa de Pós-Graduação em Solos e Qualidade de Ecossistemas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Solos e Qualidade de Ecossistemas.

**ORIENTADOR: PROF. DR. JOSÉ FERNANDES MELO FILHO
COORIENTADOR: PROF. DR. LUCIANO DA SILVA SOUZA**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
MESTRADO EM SOLOS E QUALIDADE DE ECOSSISTEMAS
CRUZ DAS ALMAS - BAHIA - 2012

FICHA CATALOGRÁFICA

M775

Monteiro, Joaquim Francisco.

Avaliação da qualidade do solo em diferentes sistemas de uso e manejo agrícola em ambiente tropical / Joaquim Francisco Monteiro._ Cruz das Almas, BA, 2012. 57f.; il.

Orientador: José Fernandes de Melo Filho.

Coorientador: Luciano da Silva Souza.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas.

1.Solos – Manejo. 2.Solos – Análise. 3.Recursos agrícolas. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Título.

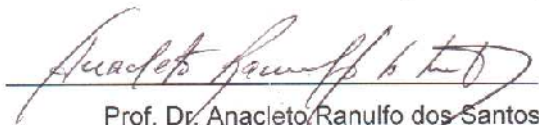
CDD: 631.4981

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
SOLOS E QUALIDADE DE ECOSISTEMAS


COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE
JOAQUIM FRANCISCO MONTEIRO



Prof. Dr. José Fernandes de Melo Filho
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB
(Orientador)



Prof. Dr. Anacleto Ranulfo dos Santos
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB



Prof. Dr. Washington Luiz Cotrim Duete
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB

Dissertação homologada pelo Colegiado de Curso de Mestrado em Solos e
Qualidade de Ecossistemas em, conferindo o Grau de
Mestre em Solos e Qualidade de Ecossistemas em
.....

Aos meus pais Monteiro e Amélia pelo apoio, confiança e amor que sempre me dedicaram. Aos meus irmãos e minha família pelo companheirismo e amizade compartilhada.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À minha família pelo amor e compreensão em todo o momento nesta fase da minha vida.

Ao Prof. Dr. José Fernandes de Melo Filho e ao Prof. Dr. Luciano da Silva Souza, pela amizade, confiança, dedicação e orientação durante o curso e no desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores Doutores Oldair Del'Arco Vinhas Costa, Jorge Antonio Gonzaga Santos, Joelito Rezende, Anacleto Ranulfo, Washington Cotrim Duete e Paulo Cesar Lemos de Carvalho pela amizade, incentivo, apoio, confiança e pelas contribuições concedidas a este trabalho e a minha formação acadêmica.

À Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, pela oportunidade de realizar este curso.

Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão da bolsa de estudo.

Aos bolsistas de iniciação científica Devison Peixoto, Ana Carolina, Poliana Farias pela valiosa ajuda na coleta das amostras e análises de laboratório.

Aos nobres colegas e amigos, Marcelo Miranda, Maxsuel Souza, Rodrigo Herrera, Felipe Gomes, Erivaldo, Adriana Batista, Tamara Eloy, Ronaldo Pedreira, Jailson, Renata e Marcela Bonfim pelo apoio, carinho, amizade, e por compartilharmos o conhecimento científico.

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

Muito Obrigado!

SUMÁRIO

Página

RESUMO

ABSTRACT

INTRODUÇÃO 1

Capítulo 1

ATRIBUTOS DE QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMA DE PRODUÇÃO
DE MANDIOCA COM PLANTAS DE COBERTURA DO SOLO
..... 07

Capítulo 2

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE SOLO EM DOIS SISTEMAS DE USO
AGRÍCOLA NO SEMIÁRIDO BAIANO..... 38

CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 57

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE USO E MANEJO AGRÍCOLA EM AMBIENTE TROPICAL

Autor: Joaquim Francisco Monteiro

Orientador: José Fernandes Melo Filho

Coorientador: Luciano da Silva Souza

RESUMO: A modernização da agricultura e o aumento simultâneo das preocupações da sociedade quanto à proteção ambiental e a qualidade dos alimentos têm colocado o foco no manejo agrícola e seu impacto sobre a qualidade do solo, cujo conceito envolve a capacidade deste para funcionar como meio e suporte das atividades agrícolas, reduzindo simultaneamente o efeito sobre o meio ambiente e contribuindo para a saúde humana. Por outro lado, o desenvolvimento de novas tecnologias de produção trouxe grandes mudanças no manejo agrícola e com isso, muitos benefícios socioeconômicos, porém com fortes desequilíbrios ambientais incluindo a degradação do solo. Assim, o presente trabalho tem como objetivo, avaliar a qualidade do solo em diferentes sistemas de uso e manejo agrícola em dois ecossistemas do estado da Bahia. O primeiro no município de Tancredo Neves, em sistemas de cultivo de mandioca com plantas de cobertura e o segundo em Ponto Novo, onde se avaliaram áreas de caatinga, bananal e pastagem irrigada. O modelo de avaliação do índice de qualidade do solo (IQS) foi o proposto por Karlen e Stott (1994) e os resultados da pesquisa mostram nos dois estudos que os sistemas agrícolas, com o mínimo revolvimento do solo e/ou consorciação com plantas de cobertura, contribuem para o incremento da matéria orgânica e conseqüente melhoria dos atributos de qualidade física e química do solo.

Palavras chave: manejo do solo, atributos do solo, índice de qualidade do solo

EVALUATION OF SOIL QUALITY IN DIFFERENT MANAGEMENT SYSTEMS AND AGRICULTURAL USE IN TROPICAL ENVIRONMENT

Author: Joaquim Francisco Monteiro

Adviser: José Fernandes Melo Filho

Co-Advisor: Luciano da Silva Souza

Abstract: The modernization of agriculture and the simultaneous increase of concerns of the society regarding environmental protection and food quality, have put the focus on agricultural management and its impact on the quality of the soil, concepts of which involve the ability of the former to work as a means of support for the agricultural activities while reducing the effect on the environment and contributing to human health. However, the development of new production technologies has brought major changes in agricultural management and with it, many socio-economic benefits, but with strong environmental imbalances including soil degradation. Thus, the present study aimed to assess soil quality in different land systems and farm management in various ecosystems in the state of Bahia. The first in the city of Tancredo Neves, in cassava cultivation systems with cover crops and the second in New Point, evaluating areas of caatinga, banana and irrigated pasture. The model for assessing soil quality index (SQI) was proposed by Karlen and Stott (1994) and search results in both studies show that agricultural systems with minimum tillage soil and/or intercropping with cover crops, contribute to the increase of organic matter and consequent improvement of the quality attributes of physical and chemical soil.

Key Words: soil management, soil attributes, soil quality index

INTRODUÇÃO

O solo é um sistema natural ativo e dinâmico fundamental para a vida no planeta terra. Além de servir como meio para o crescimento vegetal, através do suporte físico, regula e compartimentaliza o fluxo de água no ambiente, armazena e promove a ciclagem de elementos na biosfera e atua como um tampão ambiental (LARSON; PIERCE, 1994; KARLEN et al., 1997). No entanto, o crescente aumento da população e a demanda por alimentos e fibras têm elevado a pressão sobre o uso da terra em áreas agrícolas, o que associado as práticas culturais adotadas pelos agricultores, baseadas em preparo do solo com excessiva mobilização e desestruturação da camada superficial, aceleram a oxidação da matéria orgânica, reduzem a atividade biológica e, conseqüentemente, a perda da sua capacidade produtiva, agravando os problemas como a erosão, uma das principais causas da degradação dos solos agrícolas e do meio ambiente no Brasil e no Mundo.

No Recôncavo sul da Bahia, os processos de degradação do solo nos sistemas de produção de mandioca estão associados às práticas de uso e manejo. O preparo do solo é feito com arado e grade, não se faz a correção de solo e o uso de adubo, quando ocorre, limita-se a colocação de pequenas quantidades de esterco ou torta de mamona. Outra característica inerente ao uso do solo no Recôncavo é o seu caráter permanente, tendo em vista que as áreas são utilizadas por muitos anos, repetidamente, com a mesma cultura. Assim, o preparo constante, com a utilização de implementos mecânicos, sempre na mesma profundidade, resulta na formação de camadas compactadas, reduz a estabilidade e o tamanho dos agregados, aumenta a densidade do solo e a resistência à penetração de raízes, afetando a distribuição, o crescimento e absorção de água e nutrientes pelas plantas (SOUZA, 1988; ROSOLEM et al., 1998; SOUZA et al., 2006; FASINMIRIN; REICHERT, 2011), o que associado à sensibilidade das plantas tuberosas a essas condições

adversas, resulta no baixo índice de produtividade. Nesse contexto, a adoção de sistemas de preparo com mínimo revolvimento do solo e uso de plantas de cobertura, além de oferecerem as condições favoráveis ao crescimento e desenvolvimento da cultura, fundamentam a sustentabilidade dos sistemas de produção (CAVALIERI et al., 2006).

Por outro lado, no semiárido baiano, ambiente naturalmente frágil, os processos de degradação do ambiente e do solo estão associados à ação antrópica, via mau uso dos recursos naturais para ocupação e sobrevivência (MELO FILHO; SOUZA, 2006). Na Caatinga, a retirada da vegetação nativa para a realização de atividades agrícolas, aliada a utilização de práticas ineficientes de uso e manejo do solo mais os longos períodos de estiagem, resultam na exposição do solo à ação dos fatores que levam a sua degradação (SAMPAIO et al., 2005; MELO FILHO; SOUZA, 2006). Nesta região, a degradação dos solos está relacionada com a erosão hídrica, ao acúmulo de sais no perfil do solo, aos baixos índices de pluviosidade, a elevada evaporação da água na superfície do solo e aos baixos conteúdos de matéria orgânica, o que, juntamente com o acentuado déficit de umidade contribui para diminuir tanto a atividade quanto à diversidade da fauna edáfica (MELO FILHO; SOUZA, 2006).

Por tratar-se de uma região com características naturais complexas e altamente heterogêneas em relação à chuva, ao solo e a vegetação, a região semiárida representa um enorme desafio para o uso e o manejo do solo e da água em sistemas agrícolas sustentáveis.

Conceito de Qualidade do solo

A integração das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, que o habilitam a exercer suas funções no seu máximo potencial é referida como “qualidade do solo” (CARTER, 2001), sendo o seu monitoramento uma estratégia necessária e imprescindível, para avaliar a sustentabilidade dos sistemas naturais e agrícolas e controle dos processos de degradação (SIQUEIRA et al., 1994).

A qualidade do solo tem sido definida de várias formas, as quais relacionam a capacidade do solo para suportar e manter a vida das plantas. Anderson e Gregorich (1984) definiram a qualidade do solo como a capacidade sustentada por um solo em aceitar, armazenar, reciclar água, nutrientes e energia. No entanto, a agricultura é vista hoje como um amplo sistema ecológico, que interage e afeta

outras várias partes do sistema. Este desenvolvimento é expresso no conceito amplo de qualidade do solo, descrito por Larson e Pierce (1994). Estes autores definiram a qualidade do solo como a capacidade do solo para funcionar dentro dos limites do seu ecossistema e interagir positivamente com o ambiente externo para o mesmo. Esta definição também reconhece a importância do solo para outras funções dentro e fora dos ecossistemas agrícolas. Uma definição mais detalhada foi desenvolvida por Doran e Parkin (1994) que definem a qualidade do solo como capacidade de um tipo específico de solo funcionar, dentro dos limites dos ecossistemas naturais ou manejados, para sustentar a produtividade vegetal e animal, manter ou melhorar a qualidade da água e do ar, e suportar a saúde humana e habitacional.

Kibblewhite et al. (2008), propôs uma definição da saúde/qualidade do solo e definiram como sendo um solo agrícola saudável, aquele que é capaz de suportar a produção de alimentos e fibras, com qualidade suficiente para satisfazer as necessidades humanas e garantir o fornecimento de outros serviços ecossistêmicos essenciais para a manutenção da qualidade de vida para os seres humanos e para a conservação da biodiversidade.

Observa-se, portanto, que o tema é controverso e que não há um consenso em relação ao conceito e pode-se constatar que a qualidade de solo está associada a “saúde” do solo, que é o termo muito utilizado nas discussões sobre agricultura sustentável para descrever o estado geral ou a qualidade do recurso solo. Segundo Dexter (2004), o importante na qualidade do solo é a integração dos processos físicos, químicos e biológicos com as suas funções.

A caracterização inicial desses processos nos sistemas de produção é crucial para avaliar de forma objetiva as mudanças induzidas pelo manejo, que irão ocorrer ao longo do tempo (LAL, 1999). No entanto, os diferentes atributos requerem distintas escalas temporais para que as alterações ou modificações se tornem visíveis ou mensuráveis.

Através do somatório dos indicadores de qualidade do solo ponderados de acordo com a sua importância para a função estabelecida, obtém-se o índice de qualidade do solo. Karlen e Stott (1994) estabeleceram uma metodologia para a sua determinação e foi considerada por vários autores, factível e eficiente, podendo ser aplicada em diferentes ambientes e para diversas situações, o que foi confirmado

por Hussain et al. (1999); Glover et al. (2000); Chaer (2001); Souza et al. (2003); Souza (2005); Melo Filho et al. (2007). Por isso, entender e quantificar como os sistemas de manejo afetam os atributos do solo que definem sua qualidade para funcionar na produção vegetal constitui uma etapa fundamental para a melhoria dos sistemas produtivos, tendo em vista que a identificação das alterações que causam permitirá a adoção de medidas específicas para mitigá-las, quando negativas ou mantê-las quando positivas. Assim, o presente estudo tem como objetivo, avaliar o efeito do uso e manejo na melhoria dos indicadores e na qualidade do solo em dois ecossistemas do estado da Bahia nomeadamente Tabuleiros Costeiros e Semiárido baiano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, D. W.; GREGORICH, E. G. Effect of soil erosion on soil quality and productivity. Pages 105-113 in SOIL EROSION AND DEGRADATION, 1984. **Proceedings** of 2nd ann. Western provincial conf. rationalization of water and soil research and management, Saskatoon, Saskatchewan, 1984.
- CARTER, M.R. Organic matter and sustainability. In: REES, B. C.; BALL, B. C.; CAMPBELL, C. D.; WATSON, C. A. eds. **Sustainable management of soil organic matter**. Wallingford, CAB International, 2001. p9-22.
- CAVALIERI, K. M. V. et al. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:137- 147, 2006.
- FASINMIRIN, J. T.; REICHERT, J. M. "Conservation tillage for cassava (Manihot esculenta Crantz) production in the tropics." **Soil and Tillage Research** v.113, n.1, p.1-10, 2011.
- CHAER, G. M. **Modelo para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos**. 2001. 90f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.
- DEXTER, A. R. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma** v.120, p.201-214, 2004.
- 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, SSSA, 1994. p.1-20. (Special, 35)

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. **Agric. Ecosys. Environ.**, v.80, n.1-2, pag.29-45, 2000.

HUSSAIN, I. et al. Adapitation of soil quality indices and aplication to three tillage systems in southern Illinois. **Soil ; Tillage Research**, v.50, n.3-4, p.237-249, 1999.

KARLEN, D. L.; STOTT, D. E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J. W. et al. eds. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, Soil Science Society of American/American Society of Agronomy, 1994. p.53-71. (SSSA Spec. Publ. No. 35)

KARLEN, D. L. et al. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, n.1, p.4-10, 1997.

KIBBLEWHITE M.G.; RITZ, K.; SWIFT, M. J. Soil health in agricultural Systems **Phil. Trans R. Soc. B**.363. p.685-701, 2008.

LAL. Rattan. **Métodos para avaliação do uso sustentável dos recursos solo e água nos trópico**. EMBRAPA MEIO AMBIENTE, Jaguariúna, 1999. Tradução e Adaptação: Cláudia Conti Medugno e José Flávio Dynia . 97p.

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J. W. et al., **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, WI: Soil Science Society of America, 1994, p.37-52, (Special publication, 35).

MELO FILHO, J. F. SOUSA, A. L. V. O manejo e a conservação do solo no Semiárido baiano: desafios para a sustentabilidade, **Bahia Agrícola**, v.7, n.3, p.50-60, 2006.

MELO FILHO, J. F. de; SOUZA, A. L. V.; SOUZA, L. S. Determinação do índice de qualidade subsuperficial em um Latossolo Amarelo Coeso dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** [online], v.31, n.6, p.1599-1608, 2007

ROSOLEM, C. A. et al. Root growth and cotton nutrition as affected by liming and soil compaction. **Soil Scientia. Plant. Anal.**, v.29, n.1, p.169-177, 1998

SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, M. do S. B.; SAMPAIO, Y. S. B. Impactos ambientais da agricultura no processo de desertificação no Nordeste do Brasil. **Revista de Geografia**, v.22, n.1, p.90-112, 2005.

SIQUEIRA, J. O. et al., **Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental**. Brasília: EMRAPA-SPI, 1994. p.7-81

SOUZA, C. M. **Efeito do uso contínuo de grade pesada sobre algumas características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, fase cerrado, e sobre o desenvolvimento das plantas e absorção de**

nutrientes pela cultura de soja. 1988. 105f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

SOUZA, L. D.; SOUZA, L. S. Manejo e conservação do solo. In: SOUZA, L. D. et al., (ed.). **Aspectos socioeconômicos e agrônômicos da mandioca.** Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cap. 10, p.248-290, 2006.

SOUZA, L. S.; SOUZA, L.D.; SOUZA, L.F. da S. Indicadores físicos e químicos de qualidade do solo sob o enfoque de produção vegetal: estudo de caso para citros em solos coesos de tabuleiros costeiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, 2003, Ribeirão Preto, SP. **Anais...** Ribeirão Preto: UNESP, SBCS. CD-ROM.

SOUZA, A. L. V. **Avaliação da qualidade de um Latossolo Amarelo Coeso argissólico dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural.** 2005. 95f. Dissertação (Mestrado em Uso, Manejo e Conservação dos Recursos Naturais Solo e Água) Escola de Agronomia, Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, 2005.

CAPÍTULO 1

ATRIBUTOS DE QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMA DE PRODUÇÃO DE MANDIOCA COM PLANTAS DE COBERTURA ¹

¹ Artigo a ser ajustado para submissão ao Comitê Editorial do periódico científico Revista Brasileira de Ciência do Solo

ATRIBUTOS DE QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMA DE PRODUÇÃO DE MANDIOCA COM PLANTAS DE COBERTURA

RESUMO: A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma cultura de grande importância socioeconômica cultivada em diversas condições edafoclimáticas. Contudo os sistemas de preparo convencional para esta cultura, dependendo do solo, clima e manejo, podem promover a degradação da qualidade física do solo tendo como consequência à redução da sua capacidade produtiva. O presente estudo tem como objetivo avaliar o efeito das plantas de cobertura feijão de porco (*Canavalia ensiformes*) e feijão caupi (*Vigna unguiculata*) na melhoria dos indicadores de qualidade do solo e na produtividade da mandioca, como forma de avaliar a sustentabilidade das práticas de uso agrícola em um sistema de consórcio com adubos verdes. O estudo foi realizado na área experimental da Casa Familiar Rural (CFR) de Presidente Tancredo Neves, município do Baixo Sul da Bahia, onde foram aplicados quatro tratamentos e dois subtratamentos: T₁ - Arranjo com duas linhas de planta de cobertura; T₂ - Arranjo com três linhas; T₃ - Arranjo com quatro linhas; e T₄ - mandioca em monocultivo usada como referência; ST₁ - Feijão de porco e ST₂ - Feijão Caupi. O delineamento experimental adotado foi de blocos ao acaso (DBC), em esquema fatorial (3x2)+1. Os resultados mostram que o cultivo de mandioca consorciado com plantas de cobertura promoveu a melhoria na disponibilidade de nutrientes para as culturas subsequentes e o consórcio com três linhas de feijão caupi (*Vigna unguiculata*) incrementou a produção de raízes de mandioca, tornando-se mais eficiente no desempenho de suas funções.

Termos de indexação: manejo do solo, *Manihot esculenta*, adubos verdes

SUMMARY: ATTRIBUTES OF SOIL QUALITY IN PRODUCTION SYSTEM OF CASSAVA WITH CROP COVER

Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) is a crop of great socio-economic importance and is cultivated in diverse soil and climatic conditions. However conventional tillage systems for this crop, depending on soil, climate and management, can promote the degradation of soil physical quality resulting in the reduction of its production capacity. The present study aimed to evaluate the effect of jack bean (*Canavalia ensiformes*) and cowpea (*Vigna unguiculata*) in improving indicators of soil quality and productivity of cassava as a form of assessing the sustainability of agricultural practices in a production system intercropped with green manures. The study was conducted at the experimental Rural Family House (CFR) of President Tancredo Neves, a municipality in Southern Bahia where four treatments were applied and two subplot: T₁ - Arrangement with two lines of crop cover; T₂ - Arrangement with three lines, T₃ - Arrangement with four lines, and T₄ - cassava without crop cover used as reference; ST₁ - Jack Beans and ST₂ - Cowpea Beans. The experimental design was a randomized block design (RBD), a factorial (3x2)+1. The results show that the cultivation of cassava intercropped with crops cover promoted the improvement in the availability of nutrients for subsequent crops, and the consortium with three rows of cowpea (*Vigna unguiculata*) increased the production of cassava roots, becoming more efficient in performing its functions.

Keywords: soil management, *Manihot esculenta*, green manures

INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma cultura de grande importância socioeconômica, cultivada em todas as regiões brasileiras e nas mais diversas condições edafoclimáticas. Suas raízes são usadas como matéria-prima industrial, na alimentação humana e animal, tanto in natura quanto na forma de farinhas e outros derivados. Também é importante geradora de emprego e renda, notadamente nas áreas pobres da região Nordeste (Cardoso, 2003), onde o consumo “per capita” de raízes é de 150 kg/habitante/ano (Azzini et al., 1996).

Na Bahia, em 2012, a cultura da mandioca apresentou uma área colhida de, aproximadamente, 310.990 hectares com produtividade média de 12,1 toneladas por hectare, gerando uma produção de 3,1 milhões de toneladas de raízes (IBGE, 2012). Essa produtividade está muito próxima da média no Brasil, de, aproximadamente, 14,0 toneladas por hectare, porém muito aquém da média de 24,8 toneladas por hectare, obtida no estado São Paulo, atualmente o maior produtor da cultura no Brasil.

Os baixos índices de produtividades resultam da influência de vários fatores, dentre os quais se destacam o cultivo em áreas marginais, solos pobres, uso de variedades pouco produtivas e deficiências no sistema de produção, incluindo a etapa relativa ao preparo do solo e cultivos sucessivos em uma mesma área (Souza et al., 2006; Carvalho et al., 2007; Fermont et al., 2009; El-Sharkawy, 2010).

No Recôncavo sul da Bahia, a mandioca é cultivada, predominantemente, por agricultores familiares, que utilizam o sistema convencional, baseado no uso de implementos mecânicos. Nesta situação os produtores realizam o preparo do solo com arado e grade, seguido do plantio em “covas”, abertas com enxada, onde são depositadas as “manivas” sementes. Para os tratos culturais também utilizam à enxada. Não fazem correção de solo e o uso de adubo, quando ocorre, limita-se a colocação de pequenas quantidades de esterco ou torta de mamona nas “covas”. Outra característica inerente ao uso do solo para a cultura da mandioca no Recôncavo é o seu caráter permanente, tendo em vista que as áreas são utilizadas por muitos anos, repetidamente, com a mesma cultura. Assim, o preparo

constante, com a utilização de implementos mecânicos, sempre na mesma profundidade, resulta na formação de camadas compactadas, reduz a estabilidade e o tamanho dos agregados, aumenta a densidade do solo e a resistência à penetração de raízes, afetando a distribuição, crescimento e absorção de água e nutrientes pelas plantas (Souza et al., 2006; Cavalieri et al., 2006; Fasinmirin & Reichert, 2011), o que associado à sensibilidade das plantas tuberosas a essas condições adversas, resulta em baixos índices de produtividade. Por isso, a adoção de sistemas de preparo com mínimo revolvimento do solo e uso de plantas de cobertura para produção de biomassa ou como adubo verde, tem sido uma alternativa para os agricultores, pois além de proporcionar condições favoráveis ao crescimento e desenvolvimento da cultura, fundamentam a sustentabilidade dos sistemas de produção (Cadavid et al., 1998; Howeler, 2002; Cavalieri et al., 2006; Takahashi & Bicudo, 2009).

Dos componentes do manejo do solo, o preparo convencional talvez seja a atividade que mais influencia no seu funcionamento, pois atua diretamente na estrutura (Fasinmirin & Reichert, 2011). O solo geralmente mantido em estado natural, sob vegetação nativa, apresenta características físicas, como permeabilidade, estrutura, densidade e porosidade, adequadas ao desenvolvimento das plantas. No entanto, quando é utilizado no processo produtivo agrícola, suas características sofrem alterações cuja intensidade e durações variam com as condições de clima, natureza do solo, uso e manejos adotados, além é claro, de afetar a qualidade do solo para funcionar como meio natural de crescimento e produção vegetal (Melo Filho et al., 2004). Portanto, entender e quantificar como os sistemas de manejo afetam os atributos do solo que definem sua qualidade para funcionar na produção vegetal é uma etapa fundamental para a melhoria dos sistemas produtivos, tendo em vista que a identificação das alterações que causam permitirá a adoção de medidas específicas para mitigá-las, quando negativas ou mantê-las quando positivas.

Howeler et al. (1993), Souza et al. (2006) e Are et al. (2009), destacam a importância de se fazer um revolvimento mínimo adequado durante o preparo do solo, pois este proporciona melhor drenagem e aeração, reduz a podridão e danos às raízes, facilita a colheita e aumenta a produtividade. Por outro lado, a consorciação de culturas proporciona maior aproveitamento dos recursos do

ambiente, como a radiação solar, água e nutrientes (Padovan, 2006), promove o aumento da produtividade por unidade de área (Mattos et al., 2005), protege o solo contra a erosão e controla as plantas espontâneas (Ait, 2006; Devides et al., 2009), reduz a incidência de pragas e/ou doenças no consórcio, reduzindo os custos de produção para o pequeno agricultor e diversificando a sua renda pela diversidade de produtos (Alves et al., 2009). Vários trabalhos têm demonstrado os benefícios da utilização da consorciação de plantas de cobertura com culturas de interesse econômico a exemplo da redução e controle da erosão; melhoria nos atributos físicos do solo e do estado de agregação das partículas; manutenção ou incremento de matéria orgânica, melhorando a disponibilidade de nutrientes para as culturas subsequentes; elevação dos teores de nitrogênio e acúmulo e disponibilidade de fósforo, potássio, cálcio e magnésio (Reicoscky & Forcella, 1998; Carter, 1992; Calegari et al., 2006).

Os trabalhos realizados na região do Recôncavo da Bahia, com o objetivo de verificar as relações entre sistemas de preparo do solo e produção de mandioca observaram que as diferenças verificadas nos atributos de qualidade do solo não resultaram em ganhos de produtividade para os sistemas conservacionistas (Souza et al., 1994; Souza & Carvalho, 1995), porém verificou-se significativa redução de custos e potencial favorável ao sistema reduzido (Carvalho et al., 1988).

Silva & Ferreira Filho (2009), avaliando o comportamento de 54 genótipos de mandioca, da região do Recôncavo Sul da Bahia, verificaram rendimentos de raízes entre 5,75 a 38 Mg ha⁻¹ e produtividades de massa seca da parte aérea entre 4,8 a 34,5 Mg ha⁻¹. Em estudo realizado com objetivo de avaliar a influência das coberturas do solo com feijão-de-porco, guandu, crotalária, feijão caupi e milho em atributos físicos do solo cultivado com bananeira, Borges & Souza (2011) verificaram produções de massa seca da parte aérea de feijão de porco de 19,3 Mg ha⁻¹.

Nesse contexto, um grande desafio para os sistemas de produção de mandioca é o manejo com sistemas de preparo que revolvam o mínimo possível o solo e que criem as condições favoráveis para o crescimento e desenvolvimento da cultura (Souza et al., 2006; Fasinmirin & Reichert, 2011), combinados com sistemas de consórcio com plantas de cobertura, preferencialmente leguminosas,

cultivadas em arranjos de rotação e em consorciações com culturas de interesse para o agricultor (Reicoscky & Forcella, 1998; Padovan, 2006). Assim, o presente estudo tem como objetivo, avaliar o efeito do uso de plantas de cobertura do solo nos atributos de qualidade do solo e na produtividade da mandioca em um sistema de plantio em fileiras duplas.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Campo Demonstrativo de Tecnologia da Mandioca (CDTM) da Casa Familiar Rural de Presidente Tancredo Neves – CFR-PTN, Fazenda Novo Horizonte, BR 101 - Km 315, no município de Tancredo Neves, situado no baixo sul da Bahia, cujas coordenadas geográficas são 13°26'55" de latitude Sul e 39°25'17" de longitude Oeste de Greenwich, a 225 m de altitude. O clima predominante da região é Af segundo à classificação de Köppen, com temperaturas médias anuais de 19,4 °C à 24,6 °C e precipitação pluviométrica anual entre 1100 mm e 2000 mm, com uma boa distribuição ao longo do ano, sendo os meses mais secos, dezembro, janeiro e fevereiro. A vegetação natural original é do tipo floresta Ombrófila Densa (SEI, 2012). O solo foi classificado como Argissolo Amarelo Distrocoeso (Embrapa, 2006).

O delineamento experimental adotado foi de blocos ao acaso, em esquema fatorial (3x2) + 1 com 7 tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistiram em: fator 1 - consórcio da mandioca com arranjos de duas, três e quatro linhas de semeadura de planta de cobertura; fator 2 - coberturas de feijão de porco (*Canavalia ensiformis*) e feijão caupi (*Vigna unguiculata*); e mais um tratamento adicional de mandioca em monocultivo (MEM), tido como sistema de referência.

Em todos os tratamentos o preparo do solo foi realizado com uma aração e uma gradagem e foram feitas adubações de acordo com o resultado da análise de solo, seguindo-se a recomendação para a cultura (Souza et al., 2006), utilizando-se para tal, 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, tendo como fonte farinha de ossos (25% P₂O₅ total) e 40 kg ha⁻¹ de K₂O, cuja fonte foi proveniente de cinzas vegetal (5% de K₂O). O plantio da mandioca de cultivar “periquito” foi realizado em covas em sistema de fileiras duplas, no espaçamento de 2,0 m x 0,8 m x 0,8 m, por meio de

hastes (manivas) com 20 cm de comprimento, posicionadas horizontalmente no solo.

Aos 30 dias após o plantio (DAP) realizou-se uma capina com auxílio de enxada e em seguida realizou-se a sementeira manual do feijão caupi cv. BRS Guariba e do feijão de porco no espaçamento 0,50 m entre linhas e 0,25 m entre plantas, sendo distribuídas duas (2) sementes por cova, para ambas as espécies, obtendo-se uma população de aproximadamente 57.142 plantas/ha para o arranjo com duas linhas, 86.021 plantas/ha no arranjo com três linhas e 104.918 plantas/ha no arranjo com quatro linhas, para ambas leguminosas.

Foram realizadas no total, quatro capinas (30, 60, 90 e 150 DAP) nos tratamentos de mandioca com feijão caupi e mandioca em monocultivo (MEM) e duas capinas (30 e 150 DAP) para a mandioca consorciada com feijão de porco.

O corte do feijão caupi e do feijão de porco visando à formação da palhada, iniciou-se aos 82 dias após o plantio (DAP), quando estas leguminosas se encontravam na fase de grão e na floração, respectivamente.

A quantificação da biomassa aérea foi feita em área de 5,60 m², localizadas na parte central das parcelas. Para o feijão caupi, foram coletadas as folhas senescentes durante o ciclo da cultura que, juntamente com os resíduos remanescentes após a colheita, representaram toda biomassa aérea adicionada ao solo.

A mandioca foi colhida aos 365 DAP após o plantio, considerando-se as plantas colhidas no centro da parcela com 8,0 m de comprimento, onde se avaliou a produtividade de raízes tuberosas e produtividade da parte aérea.

A amostragem de solo e indicadores avaliados

Foi traçado uma malha 38 x 60 m com 28 pontos de amostragem com espaçamentos de 5,0 metros. Em cada ponto foram coletadas cinco amostras indeformadas de solo e uma deformada para as análises químicas, perfazendo 168 amostras da área de estudo. As amostras indeformadas foram coletadas com extrator de solo tipo Uhland e as deformadas com o auxílio de trados pedológicos, na profundidade de 0 - 0,20 m.

Foram avaliados os seguintes atributos do solo: porosidade total, macro e microporosidade e densidade do solo; potencial hidrogeniônico em água; saturação por alumínio, capacidade de troca catiônica, saturação por bases (Embrapa, 1997); condutividade hidráulica no solo saturado pelo método do permeâmetro de carga decrescente (Libardi, 2000); e matéria orgânica (Walkley & Black, 1937), descrito em Raij & Quaggio (1983). Para resistência à penetração utilizou-se o penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf, seguindo-se o método proposto por Stolf et al. (1983). Os dados experimentais de resistência à penetração foram obtidos em kgf cm^{-2} e depois foram multiplicados pela constante 0,098 para transformação em MPa (Beutler et al., 2001).

Os resultados obtidos foram submetidos a análise de variância pelo procedimento GLM usando o pacote computacional SAS para Windows versão 12, e as médias comparadas pelos testes de Tukey, Dunnett e contrastes ortogonais à 5 % de probabilidade.

Descrição do modelo de qualidade do solo

O modelo de avaliação do índice de qualidade do solo foi o proposto por Karlen & Stott (1994). Trata-se de um sistema aditivo que usa uma série de funções principais do solo, às quais são atribuídos pesos e são integradas conforme a seguinte expressão:

$$\text{IQS} = \sum (\text{qWi} \times \text{wt}) \quad (1)$$

Em que: IQS é o índice de qualidade do solo, qWi é o valor calculado para cada função principal e wt é um peso numérico atribuído para as mesmas. As funções principais são escolhidas de acordo com o objetivo da avaliação e devem ser acompanhadas de indicadores físicos, químicos e biológicos, relacionados diretamente com sua medida. Os pesos numéricos (wt) são atribuídos às funções de acordo com o grau de importância da mesma para o funcionamento do solo, no desempenho da função para a qual o índice está sendo calculado. O somatório dos pesos de todas as funções principais deve resultar, no máximo, em 1,00 (um). Esse é o valor do IQS para um solo ideal em relação ao objetivo considerado. Quando o solo apresenta limitações, os valores do IQS são menores que 1,00 (um), sendo 0,50 o limite crítico entre a boa e a má qualidade.

Após atribuir os pesos relativos para as funções, devem-se identificar e priorizar os indicadores que influenciam cada uma, em diversos graus. Seguindo o mesmo procedimento usado para as funções principais, devem-se atribuir pesos numéricos para os indicadores. Da mesma forma, o somatório geral dos pesos dos indicadores em cada nível deve ser 1,00 (um). Os indicadores de qualidade apresentam-se em diversas unidades de medida, sendo necessário, então, um fator de normalização para que possam ser corretamente somados. O mecanismo utilizado e sugerido por Karlen & Stott (1994) é uma função para padronização de escores que foi desenvolvida para sistemas de engenharia por Wymore, em 1993 (Glover et al., 2000), a qual tem a seguinte expressão:

$$PP = \frac{1}{1 + ((B-L)/(x-L))^{2S(B+x-2L)}} \quad (2)$$

em que: PP é a pontuação padronizada; B é o valor crítico do indicador, cujo escore padronizado deve ser sempre 0,50, e que estabelece o limite entre a boa ou má qualidade do solo; L é o valor inicial ou mais baixo que o indicador possa expressar, podendo receber o valor de 0; S é a inclinação da tangente à curva no ponto correspondente ao valor crítico do indicador e x é o valor da propriedade ou indicador, medido no campo.

Ao aplicar-se a equação de Wymore (1993), primeiro é preciso calcular a inclinação da tangente da curva de pontuação no valor crítico do indicador. Neste processo geram-se três funções típicas de padronização (Figura 1).

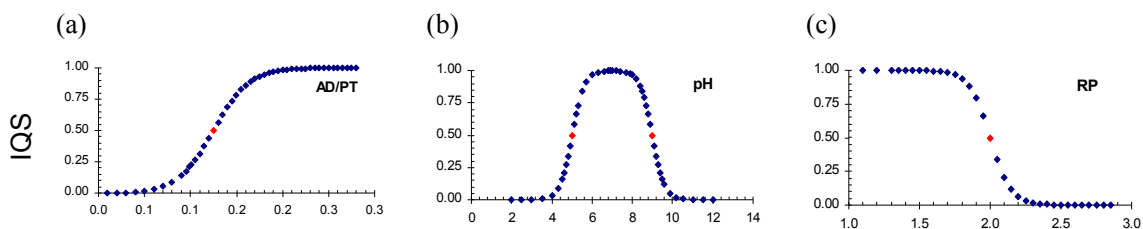


Figura 1. Funções de pontuação padronizada: (a) “mais é melhor”, (b) “valor máximo”, e (c) “menos é melhor”. Fonte: Souza et al. (2003).

Neste estudo, foram definidas três funções principais: crescimento radicular em profundidade (CRP); condução e armazenamento de água (CAA) e suprimento de nutrientes (SN). O cálculo do IQS foi feito da seguinte forma:

$$q(\text{FP}) = I_1 \times W_1 + \dots + I_n \times W_n \quad (3)$$

em que: $q(\text{FP})$ é a contribuição parcial de cada função principal para o valor global do IQS; I_n representa os valores dos diferentes indicadores da função principal avaliada, e W_n são os pesos relativos atribuídos a cada indicador e representam a importância do mesmo na composição do índice de qualidade do solo.

Na sequência do cálculo, multiplicam-se os valores encontrados em cada função principal pelo seu respectivo ponderador e efetua-se a soma dos resultados, determinando-se, assim, o índice de qualidade do solo, IQS, conforme a equação 4.

$$\text{IQS} = (q\text{CRP} \times W\text{CRP}) + (q\text{CAA} \times W\text{CAA}) + (q\text{SN} \times W\text{SN}) \quad (4)$$

Em que: $q\text{CRP}$ é o valor ponderado da função principal crescimento do sistema radicular em profundidade, $q\text{CAA}$ é o valor ponderado da função capacidade de condução e armazenamento de água; e $q\text{SN}$ é o valor ponderado a função suprimento de nutrientes, e W são os ponderadores associados a cada função principal.

Os resultados foram enquadrados de acordo com a classificação proposta por Souza (2005), em que $\text{IQS} \leq 0,50$ = ruim; $0,50 < \text{IQS} \leq 0,70$ = regular; $0,70 < \text{IQS} \leq 1,00$ = ótima, considerada mais adequada como parâmetro de enquadramento para o ambiente tropical. A tabela 1 mostra em detalhes as funções principais, indicadores, ponderadores e limites críticos utilizados na composição do índice de qualidade do solo para esta avaliação.

Tabela 1. Funções principais e indicadores físicos, químicos e limites críticos utilizados para avaliação da qualidade de um Argissolo Amarelo Distrocoeso sob plantio de mandioca com planta de cobertura do solo no Baixo Sul da Bahia

Função principal	Ponderador da função	Indicador de qualidade ⁽¹⁾	Ponderador do indicador	Limite crítico		Referências dos limites críticos
				Inferior	Superior	
Crescimento radicular em profundidade (CRP)	0,4	RP (MPa)	0,4	2,0		Taylor et al. (1966)
		Mp (m ³ m ⁻³)	0,3	0,1	0,3	Carter (2002)
		Ds (kg dm ⁻³)	0,1	1,52		Souza et al. (2003)
		m (%)	0,2	50		Lepsch (1983)
Condução e armazenamento de água (CAA)	0,4	K ₀ (cm h ⁻¹)	0,2	4,18	19,05	Soil Survey Staff (1993)
		Mp (m ³ m ⁻³)	0,2	0,1	0,3	Carter (2002)
		Uv ₃₃ /PT	0,3	0,55		Souza et al. (2003)
		AD/PT	0,3	0,125		Souza et al. (2003)
Suprimento de nutriente (SN)	0,2	pH	0,1	5,0	9,0	C. E. F. Solo (1989)
		CTC (cmol _c dm ⁻³)	0,4	4,0		Lepsch (1983)
		V (%)	0,2	50		Lepsch (1983)
		MO (g kg ⁻¹)	0,3	15		C. E. F. Solo (1989)

⁽¹⁾ RP: resistência à penetração; Mp: macroporosidade, Ds: densidade do solo; k₀: condutividade hidráulica em solo saturado; Uv₃₃/PT: relação entre umidade volumétrica do solo à -33 kPa e a porosidade total; AD/PT: relação água disponível por porosidade total; m%: saturação por alumínio; CTC: capacidade de troca de cátions; V(%): saturação por bases; MO: matéria orgânica. Fonte: Souza et. al. (2003)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise granulométrica da profundidade estudada mostrou a seguinte composição: argila, 388 g kg⁻¹, areia total 553 g kg⁻¹ e silte 59 g kg⁻¹, o que resulta em classificação como de textura argilo arenosa (Tabela 1). Portanto, verifica-se a predominância da fração areia, especialmente na fração grossa.

Tabela 1. Características granulométricas e textural da camada 0 - 0,20 m de um Argissolo Amarelo Distrocoeso sob plantio de mandioca com planta de cobertura do solo

Camada (m)	AMG ⁽¹⁾	AG	AM	AF	AMF	Areia	Silte	Argila	Composição textural
	g kg ⁻¹								
0 - 0,10	58	213	139	117	26	553	59	388	Argilo arenosa

⁽¹⁾ AMG = Areia muito grossa; AG = Areia grossa; AM = Areia média; AF = Areia fina; AMF = Areia muito fina

Os resultados da análise de variância para o IQS, suas funções e indicadores, não mostraram diferença significativa ($P > 0,05$) na interação arranjos versus tipo de cobertura de plantas, tendo sido observado efeito ($P < 0,05$) para o arranjo das plantas de cobertura nas seguintes variáveis: macroporosidade (Mp), saturação por alumínio (m%) e potencial hidrogeniônico (pH).

O teste de contrastes ortogonais entre a situação de referência, qual seja mandioca em sistema de monocultivo, versus todos os outros tratamentos, mostrou diferenças significativas para os seguintes atributos de qualidade: macroporosidade (Mp), relação umidade volumétrica retida a -33 kPa/porosidade total ($U_{V_{33kpa}}/PT$), pH, capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%), verificando-se que o tratamento mandioca em monocultivo apresentou valores superiores de macroporosidade e menores que a média para os atributos, relação $U_{V_{33kpa}}/PT$, pH, capacidade de troca catiônica e saturação por bases (Tabela 2).

Tabela 2. Valores de F, coeficiente de variação (CV %) e estimativa do contraste para o IQS, suas funções e indicadores de qualidade do Argissolo Amarelo Distrocoeso sob plantio de mandioca com planta de cobertura do solo

Fonte de variação	IQS ¹	CRP	RP100KPa	Mp (m ³ .m ⁻³)	Ds (kg dm ⁻³)	m (%)	CAA	K _o (cm h ⁻¹)	Uv33KPa/ PT	AD/PT	SN	pH	CTC (Cmol _c dm ⁻³)	V(%)	MO (g.Kg ⁻¹)
bloco	0,435	0,740	0,199	0,123	0,853	0,013	0,198	0,514	0,141	0,710	0,150	0,008	0,240	0,080	0,321
Arranjo	0,150	0,230	0,271	0,028*	0,639	0,043*	0,437	0,748	0,271	0,268	0,066	0,000**	0,223	0,368	0,171
Cobertura	0,713	0,424	0,757	0,504	0,581	0,589	0,742	0,694	0,711	0,917	0,723	0,079	0,785	0,830	0,415
Arranjo vs, Cobertura	0,680	0,741	0,363	0,163	0,711	0,188	0,794	0,923	0,651	0,844	0,870	0,161	0,697	0,572	0,405
Tratamento vs, controle	0,325	0,964	0,549	0,001**	0,241	0,061	0,061	0,816	0,000**	0,654	0,426	0,049*	0,000**	0,000**	0,067
CV(%)	12,94	13,77	53,18	17,94	5,60	26,16	41,31	88,47	15,41	71,25	19,79	1,22	16,02	13,21	8,57
Estimativa do contraste	-	-	-	-0,41	-	-	-	-	1,21	-	-	0,45	0,28	22,19	-

** significativo a 1 %; * significativo a 5 %; ¹ IQS = índice de qualidade do solo CRP = crescimento radicular em profundidade; RP_{100kPa} = resistência à penetração a 100kPa de umidade no solo; MP = macroporosidade do solo; Ds = densidade do solo; m% = saturação por alumínio; CAA = capacidade de armazenar água; Ko = condutividade hidráulica do solo saturado; Uv_{33kPa}/PT = relação umidade volumétrica retida a -33kPa/porosidade total do solo; AD/PT = relação água disponível/porosidade total do solo; SN = suprir nutrientes; pH = potencial hidrogeniônico; CTC = capacidade de troca de cátions; V% = saturação por bases e MO = matéria orgânica

O Argissolo Amarelo Distrocoeso na condição de referência apresentou acidez média, com baixa saturação por alumínio e por bases (Tabela 3). Nestas condições apresenta limitações para o cultivo agrícola, em decorrência da baixa fertilidade natural, da acidez, do médio teor de matéria orgânica ($24,19 \text{ g kg}^{-1}$) e baixa capacidade de troca de cátions (CFSEMG,1999). Os teores médios de matéria orgânica aliados aos elevados teores de areia na composição granulométrica (Tabela 2) determinam a sua baixa capacidade de retenção de água. Este resultado é esperado e está coerente com os registros para regiões tropicais, onde os solos são bastante intemperizados e com predomínio de argilas de baixa atividade e teor baixo à médio de matéria orgânica, o que reflete nos baixos níveis de CTC conforme verificado por Madari et al. (2009).

Analisando-se o efeito do arranjo das plantas de cobertura na melhoria dos atributos químicos do Argissolo Amarelo Distrocoeso, pôde-se verificar que, em relação à situação de referência, os tratamentos com arranjo de quatro linhas foram os que provocaram maiores alterações no solo, verificando-se aumento significativo do pH, do potássio, e considerável redução dos teores de alumínio (Tabela 3) confirmando os resultados de estudos que indicam que resíduos vegetais mantidos na superfície do solo podem aumentar o pH e reduzir o teor de alumínio, promovendo efeitos positivos na qualidade da fertilidade do solo (Carter, 1992; Theodoro et al., 2003; Alcantara et al., 2007). Resultados semelhantes foram observados por Miyazawa et al. (2002); Meda et al. (2002) e Theodoro et al. (2003) os quais verificaram ausência de Al^{3+} , devido principalmente ao aumento do pH, que terá promovido redução da solubilidade do alumínio e provável reação de complexação do mesmo por compostos orgânicos depositados no solo.

O aumento do potássio nos tratamentos com arranjos de quatro linhas de planta de cobertura pode ser resultado das práticas de adubação, ou pode estar relacionado à liberação mais rápida deste elemento pelos resíduos vegetais, conforme observado por Gama-Rodrigues et al. (2007). O fósforo se destaca pelo aumento significativo nos tratamentos com arranjos de duas e três linhas de feijão caupi, o que pode ser resultado da adubação, no caso com farinha de osso e ao método de extração utilizado em laboratório para sua determinação, o Mehlich-1. Trata-se, portanto, de fósforo insolúvel que está adsorvido as partículas do solo e

não disponível para as plantas. No entanto, Carel, (2006), relatou aumento dos seus níveis no solo em consórcio agrícola envolvendo leguminosas o que provavelmente levou Atilola et al. (2004) a recomendarem a inclusão de leguminosas tropicais em sistemas consorciados, como forma de reduzir a perda de P disponível.

Tabela 3. Atributos químicos de um Argissolo Amarelo Distrocoeso sob cultivo de mandioca com três arranjos de planta de cobertura do solo

Tratamentos ¹	pH (H ₂ O)	P	K	Al	Ca	Mg	CTC	MO	m	V
		mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³			g kg ⁻¹		%
MEM	5,3b	6,25c	0,05b	0,45b	1,00a	0,63a	2,13a	24,19a	21,25a	27,15b
A2FP	5,4ab	6,72c	0,05b	0,38b	1,55a	0,70a	2,68a	19,40a	14,39a	37,25a
A2FC	5,3b	19,73b	0,04b	0,40b	1,08a	0,53a	2,05a	18,81a	19,91a	29,06ab
A3FP	5,3b	4,75c	0,04b	0,45b	1,18a	0,65a	2,33a	20,80a	20,59a	31,08ab
A3FC	5,3b	29,15a	0,05b	0,43b	1,30a	0,75a	2,54a	21,63a	17,56a	32,73ab
A4FP	5,6a	8,67c	0,07a	0,33a	1,45a	0,73a	2,58a	23,93a	12,80a	33,35ab
A4FC	5,5a	9,50c	0,06ab	0,30a	1,23a	0,73a	2,33a	20,44a	13,32a	33,65ab
CV (%)	1,22	25,30	18,25	17,28	19,14	15,98	16,02	8,57	26,16	13,21
DMS	0,19	7,40	0,02	0,16	0,56	0,25	0,75	4,30	10,46	9,89

¹ Tratamentos: MEM = mandioca sem planta de cobertura (controle); A2FP = Arranjo com duas linhas de feijão de porco; A2FC = Arranjo com duas linhas de feijão caúpi; A3FP = Arranjo com três linhas de feijão de porco; A3FC = Arranjo com três linhas de feijão caúpi; A4FP = Arranjo com 4 linhas de feijão de porco; A4FC = Arranjo com quatro linhas de feijão caúpi; pH = potencial hidrogênioônico; P = fósforo (mehlich-1); K = potássio; Al = alumínio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; t = capacidade de troca catiônica; MO = matéria orgânica; V% = saturação por bases e m% = saturação por alumínio. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. CV – Coeficiente de variação; DMS – Mínima diferença significativa.

Os efeitos dos tratamentos nos indicadores de qualidade de solo estão apresentados na tabela 4. Analisando-a verifica-se que em relação a função crescimento radicular em profundidade os efeitos significativos ficaram restritos apenas à macroporosidade, tendo os tratamentos com três linhas de feijão caupi (A3FC), com quatro linhas de feijão de porco (A4FP) e com quatro linhas de feijão

caupi (A4FC), provocado sua redução em relação à mandioca em monocultivo (MEM). Este fato pode estar associado a maior produção de biomassa da planta de cobertura, que promoveu maior aporte de matéria orgânica melhorando a estrutura do solo e resultando numa maior estabilidade dos agregados e redução da macroporosidade com a conseqüente elevação da microporosidade, que é um resultado esperado e foi comprovado por Van Ouwerkerk & Boone, (1970) quando estudaram a influência de plantas de cobertura na distribuição do tamanho dos poros, em sistemas de manejo do solo. Quanto aos outros indicadores desta função observa-se grande variação nos efeitos detectados, muito embora não se tenha observado diferenças significativas, o que pode estar associado a variação das medidas obtidas.

Quanto à função condução e armazenamento de água (CAA) verificaram-se também efeitos diversificados, embora na sua maioria não significativos. Dos indicadores desta função observou-se diferença significativa ($P < 0.05$) apenas da macroporosidade, que foi reduzida e da relação umidade volumétrica/porosidade total (Uv_{33Kpa}/PT), que foi ampliada. Nestes dois casos, todos os tratamentos com uso de plantas de cobertura superam o tratamento controle, evidenciando e confirmando o benefício do aporte de matéria orgânica na estrutura do solo e conseqüentemente nos atributos relacionados à porosidade, o que constitui uma vantagem para este tipo de solo com elevado percentual de areia, conforme verificou Unger, (1994). Analisando-se individualmente os atributos de qualidade associados a esta função percebe-se a significativa melhoria da Uv_{33Kpa}/PT determinada pelas plantas de cobertura, visto que os valores passaram de 0,22 no sistema de referência (MEM) para valores entre 0,40 - 0,46 nos tratamentos com plantas de cobertura, sendo, porém importante registrar que mesmo melhorando, os resultados estão abaixo do limite crítico estabelecido por Souza et al. (2003) e, portanto, limitante em todos os tratamentos, o que possivelmente decorre do tempo de aplicação dos tratamentos, apenas um ano, sendo possível se esperar melhorias mais significativas com a repetição dos mesmos.

Na função suprimento de nutrientes, não se observou aumentos significativos dos teores de matéria orgânica o que pode estar associado ao efeito “*priming*” de se ativar a biota do solo, na decomposição da matéria orgânica já existente, concordando com Gama-Rodrigues et al. (2007). No entanto, os incrementos do

material orgânico resultaram em alterações para todos os indicadores da função, verificando-se efeito do arranjo com quatro linhas no aumento do pH e significância dos outros tratamentos na CTC e na saturação por bases.

Segundo Bayer & Mielniczuk (1997), Rheinheimer et al. (1998) e Souza & Melo (2000), o aumento da CTC do solo devido ao aporte de matéria orgânica, eleva a retenção de cátions (cálcio, magnésio e potássio) e a oferta de nutrientes essenciais (nitrogênio, fósforo e enxofre) liberados pela decomposição da biomassa das culturas e contribuindo para minimizar as possíveis perdas por lixiviação.

Tabela 4. Valores dos indicadores de qualidade de um Argissolo Amarelo Distrocoeso sob plantio de mandioca com planta de cobertura do solo

Indicadores (2)	MEM ⁽¹⁾	A2FP	A2FC	A3FP	A3FC	A4FP	A4FC	DMS ^a _(0,05)	Estimativa do contraste _(0,05)
Função crescimento radicular em profundidade (CRP)									
Rp _{100kPa}	1,21	1,37	0,78	0,63	0,96	1,29	1,23	1,16	ns
Mp (m ³ m ⁻³)	0,24	0,20	0,20	0,18	0,16*	0,13b*	0,17*	0,07	-0,41
Ds (kg dm ⁻³)	1,26	1,33	1,30	1,30	1,32	1,26	1,26	0,14	ns
m (%)	21,25	14,39	19,91	20,59	17,56	12,80	13,32	10,96	ns
Função condução e armazenamento de água (CAA)									
K _o (cm h ⁻¹)	36,88	41,45	43,92	53,10	42,46	38,81	29,27	72,20	ns
Mp (m ³ m ⁻³)	0,24	0,20	0,20	0,18	0,16*	0,13*	0,17*	0,07	ns
Uv _{33kPa} /PT	0,22	0,40*	0,40*	0,43*	0,43*	0,46*	0,42*	0,13	1,21
AD/PT	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	ns
Função suprimento de nutrientes (SN)									
pH	5,3	5,4	5,3	5,3	5,3	5,6*	5,5*	0,17	0,45
CTC (cmol _c dm ⁻³)	2,13	2,68*	2,05*	2,33*	2,55*	2,58*	2,33*	0,75	0,28
V (%)	27,15	37,25*	29,06*	31,08*	32,73*	33,35*	33,66*	2,16	-3,37
MO (g kg ⁻¹)	24,19	19,40	18,81	20,80	21,63	23,93	20,44	4,30	ns

¹ Tratamentos: MEM = mandioca sem planta de cobertura (controle); A2FP = Arranjo com duas linhas de feijão de porco; A2FC = Arranjo com duas linhas de feijão caúpi; A3FP = Arranjo com três linhas de feijão de porco; A3FC = Arranjo com três linhas de feijão caúpi; A4FP = Arranjo com 4 linhas de feijão de porco; A4FC = Arranjo com quatro linhas de feijão caúpi; ² RP_{100kPa} = resistência à penetração a 100kPa de umidade no solo; MP = macroporosidade do solo; Ds = densidade do solo; m% = saturação por alumínio; Ko = condutividade hidráulica do solo saturado; Uv_{33kPa}/PT = relação umidade volumétrica retida a -33kPa/porosidade total do solo; AD/PT = relação água disponível/porosidade total do solo; pH = potencial hidrogeniônico; CTC = capacidade de troca de cátions; V% = saturação por bases e MO = matéria orgânica; Médias seguidas por asteriscos diferem do controle ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett, ^a DMS = Diferença Mínima Significativa; ns = não significativo.

Os valores calculados para os índices de qualidade do solo (IQS) nos tratamentos avaliados, não mostraram melhoria da qualidade global do solo, devido ao uso de plantas de cobertura (Tabela 5), tendo estes apresentado valor de 0,52 na mandioca em monocultivo (MEM) e 0,53 à 0,62 nos demais tratamentos com plantas de cobertura, sendo considerada como de qualidade regular (Souza, 2005). Em todos os tratamentos a função condução e armazenamento de água foi a mais limitante e a função crescimento radicular em profundidade a melhor, mostrando que este solo de textura argilo arenosa, apesar de ter um elevado potencial de perda de nutrientes por lixiviação e baixa disponibilidade destes para as plantas, não oferece limitações ao crescimento das raízes, tendo em vista os valores favoráveis de resistência à penetração, densidade do solo e saturação por alumínio.

Tabela 5. Índices de qualidade para as funções principais e valor global do índice de qualidade de um Argissolo Amarelo Distrocoeso sob plantio de mandioca com planta de cobertura do solo

Tratamentos	CRP ⁽¹⁾	CAA	SN	IQS
MEM	0,94a	0,17a	0,40a	0,52a
A2FP	0,90a	0,27a	0,40a	0,55a
A2FC	1,00a	0,27a	0,33a	0,57a
A3FP	1,00a	0,35a	0,41a	0,62a
A3FC	1,00a	0,29a	0,43a	0,60a
A4FP	0,86a	0,25a	0,45a	0,53a
A4FC	0,90a	0,26a	0,42a	0,54a
Cv (%)	13,77	41,31	19,79	12,94
DMS^a_(0,05)	0,25	0,21	0,16	0,14

¹ CRP = crescimento radicular em profundidade; CAA = capacidade de armazenar água; SN = suprir nutrientes; IQS = índice de qualidade do solo (CRP x 0,4 + CAA x 0,4 + SN x 0,2), Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^a DMS = Diferença Mínima Significativa

Considerando-se apenas o arranjo das plantas de cobertura e seus efeitos nos indicadores de qualidade do solo (Tabela 6) pode-se verificar que o arranjo com quatro linhas diferiu significativamente dos demais arranjos ($P < 0,05$) nos atributos macroporosidade e saturação por alumínio para a função crescimento radicular em profundidade, macroporosidade na função condução e armazenamento de água e no atributo pH para a função suprimento de nutriente, tendo-se observado melhoria destes indicadores quando comparado com o arranjo de duas e três linhas respectivamente.

Tabela 6. Efeito do arranjo nos indicadores de qualidade de um Argissolo Amarelo Distrocoeso sob cultivo de mandioca com plantas de cobertura

Indicadores ⁽¹⁾	Arranjo das plantas		
	duas linhas	três linhas	quatro linhas
Função crescimento radicular em profundidade			
RP _{100kPa}	1,02a	0,79a	1,25a
Mp (m ³ m ⁻³)	0,20b	0,17ab	0,15a
Ds (kg dm ⁻³)	1,31a	1,31a	1,28a
m (%)	17,15ab	19,07a	13,6b
Função condução e armazenamento de água			
K _o (cm h ⁻¹)	42,69a	47,78a	34,04a
Mp (m ³ m ⁻³)	0,20b	0,17ab	0,15a
UV _{33kPa} /PT	0,39a	0,43a	0,44a
AD/PT	0,02a	0,03a	0,04a
Função suprimento de nutrientes			
pH	5,34b	5,33b	5,54a
CTC (cmol _c dm ⁻³)	2,36a	2,43a	2,45a
V (%)	33,15a	31,91a	33,49a
MO (g kg ⁻¹)	19,11a	21,21a	22,18a

¹ RP_{100kPa} = resistência à penetração a 100kPa de umidade no solo; MP = macroporosidade do solo; Ds = densidade do solo; m% = saturação por alumínio; Ko = condutividade hidráulica do solo saturado; UV_{33kPa}/PT = relação umidade volumétrica retida a 33kPa/porosidade total do solo; AD/PT = relação água disponível/porosidade total do solo; pH = potencial hidrogeniônico; CTC = capacidade de troca de cátions; V% = saturação por bases e MO = matéria orgânica; Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

O resultado do efeito do arranjo na produção da massa seca da parte aérea e de raízes da mandioca está apresentado na tabela 7. O arranjo com três linhas de planta de cobertura proporcionou maior produção de massa seca da parte aérea, cerca de 20,93 Mg ha⁻¹ seguido do arranjo com quatro linhas com uma produção de 19,82 Mg ha⁻¹, ambos diferindo ($P < 0,05$) da mandioca em monocultivo (MEM). Quanto a produção de raiz o arranjo com três linhas foi o que produziu maior quantidade, aproximadamente, de 12,07 Mg ha⁻¹ deferindo dos outros tratamentos.

O efeito dos arranjos das plantas de cobertura na produção da parte aérea e de raízes de mandioca pode ser resultado do maior aporte de nitrogênio, determinado pela fixação biológica promovida pelas leguminosas, resultado também constatado por Padovan et al. (2007). Por outro lado, Devides et al. (2009) e Albuquerque et al. (2012), demonstraram que o sistema de consórcio de mandioca com arranjos de feijão de porco não influenciavam a produtividade final de mandioca. Albuquerque et al. (2012), também não encontrou diferenças significativas dos tratamentos na produção da massa seca da parte aérea, contudo, Otsubo et al. (2008) constataram que a produção da massa seca e outras variáveis biométricas por eles analisadas foram influenciadas pelo sistema de manejo das plantas de cobertura e pelo preparo do solo. A produtividade encontrada neste experimento foi superior ao da região Nordeste (10,8 Mg ha⁻¹) e inferior a produtividade do país, cerca de 14,5 Mg ha⁻¹ (IBGE, 2012), podendo-se inferir que o consórcio de mandioca com três linhas de feijão pode ser uma alternativa sustentável e significar um incremento adicional na renda para o agricultor familiar no caso do caupi e/ou redução dos custos com herbicidas e mão-de-obra bem como melhor aproveitamento dos recursos existentes no caso do feijão de porco.

Tabela 7. Efeito do arranjo de plantas de cobertura na produção da parte aérea e de raízes de mandioca em um Argissolo Amarelo Distrocoeso no Baixo Sul da Bahia

Arranjos de plantas de cobertura	Produção da parte aérea	Produção de raízes
	Mg ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹
Duas linhas	16,82b	9,49b
Três linhas	20,93a	12,07a
Quatro linhas	19,05a	10,05b
Controle (MEM)	16,18b	9,04b
Cv (%)	7,99	11,44
Média	18,54	10,32

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; ns = não significativo

A maior produção de massa seca das plantas de cobertura foi no arranjo de quatro linhas com feijão de porco, cerca de 3,33 Mg ha⁻¹ e a menor produção foi no arranjo com duas linhas de feijão caupi (Tabela 8). De modo geral, os tratamentos com coberturas com feijão de porco obtiveram a maior produção de massa seca quando comparadas com o feijão caupi. Possivelmente este resultado esteja associado a maior velocidade inicial de crescimento destas plantas, a profundidade do seu sistema radicular e maior eficiência na formação de nódulos nas raízes e conseqüente fixação biológica de nitrogênio quando comparado com o caupi.

Tabela 8. Efeito do Arranjo vs tipo de planta de cobertura na produção da massa seca da planta de cobertura, em um Argissolo Amarelo Distrocoeso sob cultivo de mandioca

Planta de cobertura	Arranjo das plantas		
	Duas linhas	Três linhas	Quatro linhas
	Mg ha ⁻¹		
Feijão de porco	2,73aB	2,48aC	3,33aA
Feijão caúpi	0,52bC	0,75bB	0,92bA
Cv	4,17		
Média	1,68		

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Este resultado sugere que haja uma combinação na escolha da planta de cobertura e o arranjo dessas plantas, para que se possa ter maior produção de massa seca sem prejuízos significativos na produção de raiz. Pereira et al. (2012) avaliando à produtividade de fitomassa, cobertura do solo e uso da radiação fotossinteticamente ativa de seis variedades de leguminosas usadas como adubo verde na região do Alto Vale do Jequitinhonha em Minas Gerais, constatou menor produção de fitomassa no feijão de porco (4,0 Mg ha⁻¹) quando comparado com outras leguminosas. Os valores encontrados neste estudo, foram superiores ao encontrados por Heinrichs et al. (2005) e inferiores aos encontrados por Pereira et al. (2012) e Borges & Souza (2011), sendo importante salientar que o feijão de porco apresentou um crescimento inicial rápido, maior cobertura do solo durante todo experimento e menor incidência de plantas daninhas, provavelmente causado por um efeito supressor alelopático, conforme verificaram Favero et al. (2001) e Pereira et al. (2012) os quais destacaram a velocidade de cobertura para o feijão de porco em torno de 60% aos trinta dias após a sementeira.

Os valores de produção da parte aérea e de raízes de mandioca por tratamento estão apresentados na tabela 9 e pode-se verificar diferenças significativas ($P < 0,05$) na produção da parte aérea para os tratamentos com arranjo de três linhas de feijão de porco, arranjo de três linhas de feijão de caúpi e

arranjo de quatro linhas de feijão de porco, tendo ambos superado a mandioca em monocultivo (MEM).

O arranjo com três linhas de feijão caúpi foi o que proporcionou maior produção de raízes ($12,95 \text{ Mg ha}^{-1}$) podendo ser recomendado como a melhor combinação para o plantio consorciado com mandioca no espaçamento $2 \text{ m} \times 0,8 \text{ m} \times 0,8 \text{ m}$ e feijão caupi no espaçamento de 2 m , trazendo maiores benefícios tanto para o agricultor como para a sustentabilidade do sistema de manejo.

Tabela 9. Valores de produção da massa seca da planta de cobertura, produção da parte aérea e de raízes de mandioca por tratamento em um Argissolo Amarelo Distrocoeso no Baixo Sul da Bahia

Tratamento ¹	Mandioca	
	Massa seca parte aérea	Produção de raízes
	Mg ha ⁻¹	
A2FP	16,96	9,6
A2FC	16,67	9,38
A3FP	20,87*	11,18
A3FC	20,98*	12,95*
A4FP	19,64*	10,58
A4FC	18,45	9,52
MEM	16,18	9,04
Estimativa do contraste	16,50	8,98
CV (%) ^a	7,99	11,44
DMS ^b _(0,05)	2,97	2,36

¹ Tratamentos: MEM = mandioca sem planta de cobertura (controle); A2FP = Arranjo com duas linhas de feijão de porco; A2FC = Arranjo com duas linhas de feijão caúpi; A3FP = Arranjo com três linhas de feijão de porco; A3FC = Arranjo com três linhas de feijão caúpi; A4FP = Arranjo com 4 linhas de feijão de porco; A4FC = Arranjo com quatro linhas de feijão caúpi; Médias seguidas por asteriscos diferem do controle ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett, ^a CV = Coeficiente de variação; ^b DMS = Diferença Mínima Significativa,

CONCLUSÕES

1. O arranjo das plantas de cobertura influenciou os atributos de qualidade do solo, sendo, o de quatro linhas, aquele que produziu melhorias nos atributos: macroporosidade, saturação por alumínio e pH;
2. O uso das plantas de cobertura promoveu a melhoria na disponibilidade de nutrientes às plantas de mandioca, sendo o arranjo com três linhas o que promoveu maior produção de massa da parte aérea e de raiz e quando associada a feijão caupi torna-se mais sustentável com incrementos da produção de raízes de mandioca.

LITERATURA CITADA

- AIT, B.O. Effects of cassava interplanted with cowpea on yield and yield components of cassava and weed population density. *Crop Ecology*, 3:106-112, 2006.
- ALBUQUERQUE, J. A.; SEDIYAMA, T.; ALVES J.M.A.; SILVA, A. A. & UCHÔ, S. C. P. Cultivo de mandioca e feijão em sistemas consorciados realizado em Coimbra, Minas Gerais, Brasil. *Rev. Ciênc. Agron.* [online]. 44:532-538, 2012.
- ALCÂNTARA, E.N.; NÓBREGA, J.C.A. & FERREIRA, M.M. Métodos de controle de plantas invasoras na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) e componentes da acidez do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1525-1533, 2007.
- ALVES, J. M. A. et al., Avaliação agroeconômica da produção de cultivares de feijão-caupi em consórcio com cultivares de mandioca em Roraima. *Revista Agro@mbiente* [online], 03:15-30, 2009.
- ATILOLA, B.B.; ALADE, F.O. & AWE, B.S. Studies on intercropping of cassava with different tropical legumes. *Advanced Journal of Crop Science*, 6:621-626, 2004.
- ARE, K.S.; OLUWATOSIN, G.A.; ADEYOLANU, O.D. & OKE, A.O. Slash and burn effect on soil quality of an Alfisol: soil physical properties. *Soil Till. Res.* 103:4-10. 2009.
- AZZINI, A.; GONDIM. T.; ARAUJO, R. M.; COSTA, A. A. & VALLE. T. L. Caracterização tecnológica de caules de quatro variedades de mandioca como fonte de fibras celulósicas para papel. *Bragantia*, 55:293-297, 1996.

- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T.J.C.; MARTIN NETO, L. & FERNANDES, S.V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. *Soil Till. Res.*, 54:101-109, 2000.
- BEUTLER, A.N.; SILVA, N. L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; CRUZ, J.N. & PEREIRA FILHO, I.A. Resistência a penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho Distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:167-177, 2001.
- BORGES, A. L.; SOUZA, L. da S. Atributos Físicos de um Argissolo de Tabuleiro Costeiro sob manejo com coberturas vivas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2011. Uberlândia/Minas Gerais, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011.
- CADAVID, L.F., EL-SHARKAWY, M.A., ACOSTA, A. & SÁNCHEZ, T. Long-term effects of mulch, fertilization and tillage on cassava grown in sandy soils in northern Colombia. – *Field Crops Res.* 57:45-56, 1998.
- CALEGARI, A.; FILHO, C. C.; FILHO, J. T.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. F. Melhoria da agregação do solo através do sistema plantio direto. *Semina: Ciências Agrárias*, 27:147-158, 2006.
- CAREL, U.A. Effects of legume – based intercropping systems on soil chemical properties. *Soil Fertility Research*, 4:211-216, 2006.
- CARVALHO, F. L. C.; SOUZA, L. da S.; CALDAS, R. C.; MATTOS, P. L. P. Efeito da redução do preparo do solo sobre o comportamento produtivo da mandioca. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 23:609-614, 1988.
- CARDOSO, C.E.L. Competitividade e inovação tecnológica na cadeia agroindustrial de fécula de mandioca no Brasil. 2003. 188f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2003.
- CARTER, M.R. Influence of reduced tillage system on organic matter, microbial biomass, macro-aggregate distribution and structural stability of the surface soil in the humid climate. *Soil Till. Res.* 23:361-372, 1992.
- CARVALHO, F.B.; VIANA, A.E.S.; MATSUMOTO, S.N.; REBOUÇAS, T.N.H.; CARDOSO, C.E.L. & GOMES, I.R. Manejo de solo em cultivo com mandioca em treze municípios da região sudoeste da Bahia. *Ciênc. Agrotec.* 31:378-384, 2007.
- CAVALIERI, K.M.V.; TORMENA, C.A.; VIDIGAL FILHO, P.S.; GONÇALVES, A.C.A. & COSTA, A.C.S. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Distrófico. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:137-147, 2006.

- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DE MINAS GERAIS - CFSEMG. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. (5ª Aproximação). Viçosa, MG, 1999. 359p.
- DEVIDE, A. C. P.; RIBEIRO, R.L.D; VALLE, T.L.; ALMEIDA, D.L.; CASTRO, C.M.; FELTRAN, J.C. Produtividade de raízes de mandioca consorciada com milho e caupi em sistema orgânico. *Bragantia*, 68:145-153, 2009.
- EL-SHARKAW y, M.A.: Cassava: Physiological mechanisms and plant traits underlying tolerance to prolonged drought and their application for breeding cultivars in the seasonally dry and semiarid tropics. – In: Da Matta, F.M. (ed.): *Ecophysiology of Tropical Tree Crops*. Nova Science Publishers. Pp. 71-110. Hauppauge – New York 2010.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2ª ed. Rio de Janeiro, Ministério da agricultura e do Abastecimento, 2006. 306p.
- FAVERO, C.; JUCKSCH, I.; ALVARENGA, R. C. & COSTA, L.M. Modificações na população de plantas espontâneas na presença de adubos verdes. *Pesq. Agropec. Bras*, 36:1355-1362, 2001.
- FASINMIRIN, J. T. & REICHERT J. M. "Conservation tillage for cassava (*Manihot esculenta* Crantz) production in the tropics." *Soil and Tillage Research* 113:1-10, 2011.
- FERMONT, A.M.; VAN ASTEN, P.J.A.; TITTONELL, P.A.; VAN WIJK, M. T. & GILLER, K.E. Closing the cassava yield gap: an analyfrom small-holder farms in East Africa. – *Field Crops Res.* 112:24-36, 2009.
- GAMA-RODRIGUES, A. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; BRITO, E. C. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho-Amarelo na região noroeste fluminense (RJ). *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1421-1428, 2007.
- 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. *Agric. Ecosys. Environ.*, 80:29-45, 2000.
- HEINRICHS, R.; VITTI, G. C.; MOREIRA, A.; FIGUEIREDO, P. A. M.; FANCELLI, A. L. & CORAZZA, E. J. Características químicas de solo e rendimento de fitomassa de adubos verdes e de grãos de milho, decorrente do cultivo consorciado. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:71-79, 2005.
- HOWELER, R.H. Cassava mineral nutrition and fertilization. – In: Hillocks, R.J., Thresh, J.M., Bellotti, A.C. (ed.): *Cassava: Biology, Production and Utilization*. Pp 115-147. CABI Publishing, New York – Wallingford 2002.

- HOWELER, R. H.; EZUMAH, H. C. & MIDMORE, D. J. Tillage systems for root and tuber crops in the tropics. *Soil Till. Res.*, Amsterdam, 27:211-240, 1993
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Estatística da Produção Agrícola, 2012. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/estProdAgr_201205.pdf> Acessado em jul. de 2012
- KARLEN, D.L. & STOTT, D.E. A Framework for Evaluating Physical and Chemical Indicators of 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. 53-72. (SSSA Special Publication n.35).
- MADARI, B. E.; CUNHA, T.J.F.; NOVOTNY, E.H.; MILORI, D.M.B.P.; MARTIN NETO, L.; BENITES, V.M.; COELHO, M.R.; SANTOS, G.A. Matéria Orgânica dos Solos Antrópicos da Amazônia (Terra Preta de Índio): suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo. In: TEIXEIRA, W.G.; KERN, D.C.; MADARI, B.E.; LIMA, H.N.; WOODS, W. (Ed.). *As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas*. Manaus: 2009. Cap. 13, p.172-188.
- MATTOS, P. L. P. et al. Consorciação da mandioca plantada em fileiras duplas e simples com culturas de ciclo curto. I. mandioca x caupi x milho. *Revista Brasileira de Mandioca*, 18:25-30, 2005.
- MEDA, A.R.; PAVAN, M. A.; MIYAZAWA, M. & CASSIOLATO, M.E. Plantas invasoras para melhorar a eficiência da calagem na correção da acidez subsuperficial do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:647-654, 2002.
- MELO FILHO, J. F. de; DEMATTÊ, J. A. M.; LIBARDI, P. L. & PORTELA, J. C. Comportamento espectral de um Latossolo Amarelo Coeso argissólico em função de seu uso e manejo. *Magistra*, 16:105-112, 2004
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & FRANCHINI, J.C. Evaluation of plant residues on the mobility os surface applied lime. *Braz. Arch. Biol. Technol.*, 45:251-256, 2002.
- OTSUBO, A.; MERCANTE, F.M; SILVA, R. F.; BORGES, C. D.: Sistemas de preparo do solo, plantas de cobertura e produtividade da cultura da mandioca. *Pesq. Agropec. Bras.*, 43:327-332, 2008.
- PADOVAN, M. P. Conversão de sistemas de produção convencionais para agroecológicos: novos rumos à agricultura familiar. Dourados: Edição do Autor, 2006.

- PADOVAN, M. P; OTSUBO, A. A.; OLIVEIRA, A.; GENEVRO, J.C. Consorciação de adubos verdes com a cultura da mandioca em sistemas de produção orgânica no Mato Grosso do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO, 7, 2007, Fortaleza. Agricultura familiar, políticas públicas e inclusão social: anais. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2007. Organizado por Helenira Ellery Marinho Vasconcelos, Vitor Hugo de Oliveira, Andréia Hansen Oster. 1 CD-ROM.
- PEREIRA, G. A. M.; SILVA, D. V.; BRAGA, R. R.; CARVALHO, F. P. C.; FERREIRA, E. A. F. & SANTOS, J. B. Fitomassa de adubos verdes e cobertura do solo na região do Alto Vale do Jequitinhonha, Minas Gerais. Revista Agro@mbiente On-line, 06:110-116, 2012.
- REICOSKY, D. C. & FORCELLA, F. Cover crop and soil quality interactions in agroecosystems. J. Soil Wat. Cons., 53:224-229, 1998.
- RHEINHEIMER, D.S.; KAMINSKI, J.; LUPATINI, G.C. & SANTOS, E.J.S. Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistema de plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 22:713-723, 1998.
- SILVA, J. da; FERREIRA FILHO, J. R. Comportamento de genótipos de mandioca para atendimento a indústria na região Baixo Sul da Bahia. Revista Raízes e Amidos Tropicais, Botucatu, v. 5, p. 335-340, jul. 2009. 1 CD-ROM. Edição dos Anais do XIII Congresso Brasileiro de Mandioca; VII Workshop sobre Tecnologia em Agroindústrias de Tuberosas Tropicais. Botucatu, 2009.
- SOUZA, L. D.; SOUZA, L. S. & GOMES, J. C. Exigências edáficas da cultura da mandioca. In: SOUZA, L. D. et al., (ed.). Aspectos socioeconômicos e agronômicos da mandioca. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2006. Cap. 8, p.170-214.
- SOUZA, L. da S.; SOUZA, L. D. & SOUZA, L. F. da S. Indicadores físicos e químicos de qualidade do solo sob o enfoque de produção vegetal: estudo de caso para citros em solos coesos de tabuleiros costeiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. 29, 2003. Ribeirão Preto, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. CD – ROM.
- SOUZA, L.S.; CARVALHO, F.L.C; CALDAS, R.C. & MATTOS, P.LP. Efeito da profundidade de lavração na cultura da mandioca. I componentes do rendimento. Revista Brasileira de Mandioca, 13:137-146, 1994.
- SOUZA, L.S. & CARVALHO, F.L.C. Alterações em propriedades físicas e químicas do solo causadas por sistemas de preparo em mandioca. Revista Brasileira de Mandioca, 14:39-50, 1995
- SOUZA, A. L. V. Avaliação da qualidade de um Latossolo Amarelo Coeso argissólico dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural. 2005. 95f. Dissertação (Mestrado em Uso, Manejo e Conservação dos Recursos

Naturais Solo e Água) Escola de Agronomia, Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, 2005.

SOUZA, W.J.O. & MELO, W.J. Teores de nitrogênio no solo e nas frações da matéria orgânica sobre diferentes sistemas de produção de milho. R. Bras. Ci. Solo, 24:885-896, 2000.

SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA – SEI. Banco dados. Informações Geoambientais. < Disponível em: www.sei.ba.gov.br>. Acesso em 01 de Setembro de 2012.

TAKAHASHI, M. & BICUDO, S. J. Consorciação da mandioca em dois arranjos de plantas com duas espécies. Revista Raízes e Amido Tropicais, 05:352-359, 2009.

THEODORO, V.C.A.; ALVARENGA, M.I.N.; GUIMARÃES, R.J. & SOUZA, C.A.S. Alterações químicas em solo submetido a diferentes formas de manejo do cafeeiro. R. Bras. Ci. Solo, 27:1039- 1047, 2003.

UNGER, W.P. & KASPAR, T.C.: Soil compaction and root growth: A review. Agron. J., 86:759-766, 1994.

VAN OUWERKERK, C. & BOONE, F. R.: Soil-physical aspects of zero-tillage experiments. Netherlands Journal of Agricultural Science, The Hague, 18:247-261, 1970.

CAPÍTULO 2

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE SOLO EM DOIS SISTEMAS DE USO AGRÍCOLA NO SEMIÁRIDO ¹

¹ Artigo a ser ajustado para submissão ao Comitê Editorial do periódico científico Revista Brasileira de Ciência do Solo

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE SOLO EM DOIS SISTEMAS DE USO AGRÍCOLA NO SEMIÁRIDO BAIANO

RESUMO: O monitoramento das propriedades do solo é uma estratégia eficiente para avaliar a sustentabilidade das práticas agrícolas e indicar o manejo mais adequado, visando à conservação dos recursos naturais e o aumento da produtividade das culturas. O objetivo do presente trabalho foi monitorar os efeitos do uso agrícola nos atributos de um Latossolo Amarelo Distrófico típico, em diferentes usos, sendo dois sistemas de produção agrícola, bananal (BN) e pastagem (PA) e uma reserva de caatinga nativa (CN), considerada neste trabalho como sistema de referência. O estudo foi realizado no perímetro irrigado de Ponto Novo, município localizado no semiárido baiano. Para determinação do índice de qualidade do solo (IQS), foram avaliados 11 indicadores de qualidade: macroporosidade, densidade do solo, condutividade hidráulica saturada, retenção de água a -33kPa ($U_{v_{33}/PT}$), relação de disponibilidade de água no solo (AD/PT), pH, resistência à penetração (RP), capacidade de troca catiônica (CTC), percentagem de saturação por bases (V%), percentagem de saturação por alumínio (m%) e teor de matéria orgânica (MO), agrupados em três funções principais: crescimento radicular em profundidade (CRP), condução e armazenamento de água (CAA) e suprimento de nutrientes (SN) seguindo-se a metodologia de Karlen & Stott (1994). Os resultados mostram que em relação à área natural, o manejo usado no cultivo da banana foi mais sustentável e promoveu melhoria da qualidade do solo, enquanto a produção de capim resultou em degradação física do solo, por aumento da densidade e resistência do solo à penetração de raízes, além de redução da macroporosidade, tornando-o menos eficiente no desempenho de suas funções.

Termos de indexação: manejo do solo, atributos do solo, Sustentabilidade.

SUMMARY: AVALIATION OF SOIL QUALLITY IN TWO AGRICULTURAL MANAGEMENT SYSTEMS AT SEMIARIDO BAIANO

The monitoring of soil properties is an efficient strategy for assessing the sustainability of agricultural practices and to show the most appropriate management system in order to conserve natural resources and increasing crop productivity. The objective of this study was to monitor the effects of agricultural use in the attributes of a typical Dystrophic Yellow Latosol, in three different production systems, banana (BN), pasture (PA) and native caatinga (CN), considered in this work as reference system .The study was conducted in an irrigated field of Ponto Novo's municipality, located in the semiarid region of Bahia. To determine the soil quality index (SQI), 11 indicators of quality were assessed: macroporosity, bulk density, hydraulic conductivity on saturated soil, water retention at -33kPa (U_{v33}/TP), relationship of water availability in the soil (WA/TP), pH, penetration resistance (PR), cation exchange capacity (CEC), base saturation (V%), aluminum saturation (m%) and organic matter (OM), grouped in three main functions: root growth in depth (RGD), conduction and water storage (CWS) and nutrients supply (NS) following the methodology Karlen & Stott (1994). The results showed that, comparing with natural area, the handling used in the banana's cultivation was more maintainable and it promoted improvement of the soil quality, while the grass production resulted in physical degradation of the soil, for increased bulk density and soil resistance to root penetration, besides the reduction of the macroporosity, making it less efficient while performing its functions.

Index terms: soil management, soils attributes, framework

INTRODUÇÃO

O solo é um sistema natural ativo e dinâmico fundamental para a vida no planeta terra. Além de servir como meio para o crescimento vegetal, através do suporte físico, regula e compartimentaliza o fluxo de água no ambiente, armazena e promove a ciclagem de elementos na biosfera e atua como um tampão ambiental (Larson & Pierce, 1994; Karlen et al., 1997).

A integração das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, que o habilitam a exercer suas funções no seu máximo potencial é referida como “qualidade do solo” (Carter, 2001), sendo o seu monitoramento uma estratégia necessária e imprescindível para avaliar a sustentabilidade dos sistemas naturais e agrícolas e controle dos processos de degradação (Siqueira et al., 1994).

No semiárido nordestino, ambiente naturalmente frágil, os processos de degradação do ambiente e do solo estão associados à ação antrópica, via mau uso dos recursos naturais para ocupação e sobrevivência (Melo Filho & Souza, 2006). Neste caso a retirada da caatinga, vegetação nativa característica da região, para a realização de atividades agrícolas, aliada a utilização de práticas ineficientes de uso e manejo do solo, resultam na exposição do solo à ação dos fatores que levam a sua degradação (Sampaio et al., 2005; Menezes et. al. 2005; Melo Filho & Souza, 2006).

No semiárido a degradação física do solo está diretamente relacionada com a erosão hídrica e suas consequências. A degradação química deve-se principalmente ao acúmulo de sais no perfil proveniente do material de origem, aos baixos índices de pluviosidade e a elevada evaporação da água na superfície do solo, tudo isso associado à utilização de água de baixa qualidade para a irrigação. A degradação biológica está relacionada com a matéria orgânica do solo, cujo conteúdo é naturalmente baixo, em consequência da baixa produção de biomassa vegetal, o que, juntamente com o acentuado déficit de umidade contribui para diminuir tanto a atividade quanto à diversidade da fauna edáfica (Melo Filho & Souza, 2006).

Por tratar-se de uma região com características naturais complexas e altamente heterogêneas em relação à chuva, ao solo e a vegetação, a região semiárida representa um enorme desafio para o uso e o manejo do solo e da água

em sistemas agrícolas sustentáveis. Nestas condições é muito arriscado e difícil propor soluções universais ou modelos prontos, mesmo que testados em ambientes semelhantes, para o uso e manejo do solo e água. Assim, o presente estudo tem como objetivo, avaliar o efeito do uso agrícola nos indicadores e na qualidade do solo em dois sistemas de produção agrícola e uma área de reserva em um perímetro irrigado no semiárido Baiano.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da Área de Estudo

O estudo foi realizado no perímetro irrigado de Ponto Novo (PIP), município localizado no semiárido baiano, cujas coordenadas geográficas são 10°51'46" de latitude Sul e 40°08'01" de longitude Oeste, altitude de 362 m, temperatura média anual de 23,9°C, precipitação pluviométrica média anual de 685 mm, sendo o período chuvoso de dezembro a março, clima predominante BSh, segundo à classificação de Koppen, caracterizado por temperaturas altas com chuvas escassas no inverno. A vegetação natural original é do tipo caatinga floresta estacional e floresta estacional semidecidual (SEI, 2010). O solo nas três áreas avaliadas foi classificado como Latossolo Amarelo Distrófico típico, franco-arenoso (Embrapa, 2006).

Sistemas de uso da terra

Foram selecionadas três áreas com diferentes formas de uso e manejo do solo. A primeira, a caatinga nativa destinada à preservação ambiental, escolhida no estudo como área de referência. A segunda área é um bananal de variedade Prata Anã (*Musa spp.* AAB), irrigado por microaspersão, desmatada com utilização de trator esteira e com cinco anos de estabelecimento. Na implantação do bananal realizou-se uma aração profunda e uma gradagem para preparar o solo, seguida de calagem e adubação para correção do pH e nutrientes. O plantio foi feito em covas com dimensões de 0,5 m x 0,5 m x 0,5 m, adubadas com fosfato natural na dosagem de 0,5 kg e esterco de frango na dosagem de 6 kg por cova. O controle de plantas invasoras nos dois primeiros anos foi realizado com roçagem manual. Depois da implantação foram realizadas duas adubações com NPK por ano com base na análise química do solo. Uma vez ao ano aplica-se 6 kg

de esterco de frango por planta, além do corte e distribuição superficial dos restos culturais das bananeiras (folhas e pseudocaules) sobre o solo. A irrigação é realizada em dias alternados e a lâmina de água aplicada é determinada diariamente em função da evapotranspiração da cultura, obtida via estação meteorológica digital da própria fazenda.

O terceiro sistema de uso da terra é uma pastagem formada com capim Tifton 85 (*Cynodon spp*), irrigada com pivô central, com cinco anos de estabelecida e destinada à produção de capim de alta qualidade. A área foi desmatada com utilização de trator esteira e para a implantação da pastagem foi realizada uma aração profunda, correção do pH, com aplicação de calcário a lanço, seguida de gradagem. O plantio foi realizado com trator e semeadora/adubadora, utilizando-se adubos químicos de acordo com os resultados da análise química do solo realizada na época. O controle das plantas invasoras é realizado com capina manual e aplicação de herbicida com trator. A colheita do capim para fenação é mecanizada e, após a secagem, o enfardamento realizado no próprio campo, também com uso de máquina agrícola.

A amostragem de solo e indicadores avaliados

Nas áreas do bananal e caatinga nativa foi traçado um gride com 30 pontos de amostragem espaçados de 12 metros. Em cada ponto foram coletadas cinco amostras de solo indeformadas e uma deformada para as análises físicas, perfazendo 180 amostras em cada área de estudo. A área de pastagem foi dividida em formato de pizza, onde também se traçou um gride com 30 pontos de amostragem, distribuídos e espaçados de forma equidistantes na área, onde foram da mesma forma, coletadas cinco amostras de solo indeformadas e uma deformada por ponto, totalizando 180 amostras. As amostras indeformadas foram coletadas com extrator de solo tipo Uhland e as deformadas com o auxílio de trados pedológicos, na profundidade de 0 - 0,20 m.

Foram avaliados os seguintes atributos do solo: porosidade total, macro e microporosidade e densidade do solo; pH em água; saturação por alumínio; capacidade de troca catiônica; saturação por bases (Embrapa, 1997); condutividade hidráulica no solo saturado pelo método do permeâmetro de carga decrescente (Libardi, 2000); e matéria orgânica (Walkley & Black, 1937), descrito em Raij & Quaggio (1983). Para resistência à penetração utilizou-se o

penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf, seguindo-se o método proposto por Stolf et al. (1983). Os dados experimentais de resistência à penetração foram obtidos em kgf cm^{-2} e depois foram multiplicados pela constante 0,098 para transformação em MPa (Beutler et al., 2001). Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F, ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk (W) e médias comparadas pelo teste de Dunnett, a 5% de probabilidade.

Descrição do modelo de qualidade do solo

O modelo de avaliação do índice de qualidade do solo foi o proposto por Karlen & Stott (1994). Trata-se de um sistema aditivo que usa uma série de funções principais do solo, às quais são atribuídos pesos e são integradas conforme a seguinte expressão:

$$\text{IQS} = \sum (\text{qWi} \times \text{wt}) \quad (1)$$

em que: IQS é o índice de qualidade do solo, qWi é o valor calculado para cada função principal e wt é um peso numérico atribuído para as mesmas. As funções principais são escolhidas de acordo com o objetivo da avaliação e devem ser acompanhadas de indicadores físicos, químicos e biológicos, relacionados diretamente com sua medida. Os pesos numéricos (wt) são atribuídos às funções de acordo com o grau de importância da mesma para o funcionamento do solo, no desempenho da função para a qual o índice está sendo calculado. O somatório dos pesos de todas as funções principais deve resultar, no máximo, em 1,0 (um). Esse é o valor do IQS para um solo ideal em relação ao objetivo considerado. Quando o solo apresenta limitações, os valores do IQS são menores que 1,00, sendo 0,50 o limite crítico entre a boa e a má qualidade.

Após atribuir os pesos relativos para as funções, devem-se identificar e priorizar os indicadores que influenciam cada uma, em diversos graus. Seguindo o mesmo procedimento usado para as funções principais, devem-se atribuir pesos numéricos para os indicadores. Da mesma forma, o somatório geral dos pesos dos indicadores em cada nível deve ser 1,00 (um). Os indicadores de qualidade apresentam-se em diversas unidades de medida, sendo necessário, então, um fator de normalização para que possam ser corretamente somados. O mecanismo utilizado e sugerido por Karlen & Stott (1994) é uma função para padronização de

escores que foi desenvolvida para sistemas de engenharia por Wymore, em 1993 (Glover et al., 2000), a qual tem a seguinte expressão:

$$PP = \frac{1}{1 + ((B - L)/(x - L))^{2S(B+x-2L)}} \quad (2)$$

em que: PP é a pontuação padronizada; B é o valor crítico do indicador, cujo escore padronizado deve ser sempre 0,50, e que estabelece o limite entre a boa ou má qualidade do solo; L é o valor inicial ou mais baixo que o indicador possa expressar, podendo receber o valor de 0; S é a inclinação da tangente à curva no ponto correspondente ao valor crítico do indicador e x é o valor da propriedade ou indicador, medido no campo.

Neste estudo, foram definidas três funções principais: crescimento radicular em profundidade (CRP); condução e armazenamento de água (CAA) e suprimento de nutrientes (SN). O cálculo do IQS foi feito da seguinte forma:

$$q(\text{FP}) = I_1 \times W_1 + \dots + I_n \times W_n \quad (3)$$

em que: q(FP) é a contribuição parcial de cada função principal para o valor global do IQS; I_n representa os valores dos diferentes indicadores da função principal avaliada, e W_n são os pesos relativos atribuídos a cada indicador e representam a importância do mesmo na composição do índice de qualidade do solo.

Na sequência do cálculo, multiplicam-se os valores encontrados em cada função principal pelo seu respectivo ponderador e efetua-se a soma dos resultados, determinando-se, assim, o índice de qualidade do solo, IQS, conforme a equação 4.

$$\text{IQS} = (q\text{CRP} \times W\text{CRP}) + (q\text{CAA} \times W\text{CAA}) + (q\text{SN} \times W\text{SN}) \quad (4)$$

Em que: qCRP é o valor ponderado da função principal, crescimento do sistema radicular em profundidade, qCAA é o valor ponderado da função capacidade de condução e armazenamento de água; e qSN é o valor ponderado a função suprimento de nutrientes, e W são os ponderadores associados a cada função principal. Os resultados foram enquadrados de acordo com a classificação proposta por Souza (2005), em que $IQS \leq 0,50$ = ruim; $0,50 < IQS \leq 0,70$ = regular; $0,70 < IQS \leq 1,00$ = ótima, considerada mais adequada como parâmetro de enquadramento para o ambiente tropical.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise granulométrica (Tabela 1) mostram o predomínio da fração areia e os solos foram classificados como de textura franco arenosa.

Tabela 1. Características texturais da camada 0 - 0,20 m de um Latossolo Amarelo Distrófico típico sob três condições de uso no perímetro irrigado de Ponto Novo – BA

Situação	Areia	Silte	Argila	Classe Textural
	_____ g kg ⁻¹ _____			
Perfil 1*	842	6	152	Franco-arenosa
Perfil 2*	808	5	187	Franco-arenosa

* Perfil 1: Bananal e Caatinga Nativa; Perfil 2: Pastagem.

A Caatinga (sistema de referência) nas condições desta avaliação (Tabela 2) se caracteriza, com elevada acidez, média saturação por Al e baixa saturação por bases (CFSEMG, 1999). O conteúdo de matéria orgânica deste sistema é considerado baixo (8,04 g kg⁻¹), cujo resultado reflete numa parcela significativa da CTC (3,05 cmol_c dm⁻³) considerada média (CFSEMG, 1999). Estes resultados da área da caatinga são esperados e estão de acordo com os registros para áreas onde a baixa precipitação limita o desenvolvimento dos vegetais e o retorno da matéria orgânica ao solo, o que associado à temperatura elevada, resulta em baixos níveis de acumulação (Bayer & Mielniczuk, 1999).

Verifica-se também que o solo neste sistema, sob condições naturais ácidas, apresenta um elevado potencial de perdas de nutrientes por lixiviação e baixa disponibilidade para as plantas (Tabela 2). Trata-se de um solo cujas condições oferecem sérias limitações ao crescimento vegetal, por afetar a disponibilidade de nutrientes essenciais, a solubilidade de elementos tóxicos e a atividade dos microorganismos, prejudicando o desenvolvimento do sistema radicular e bloqueando os mecanismos de absorção e transporte de água e nutrientes das plantas conforme também verificaram Brady, (1989) e Meurer, (2007).

Tabela 2. Atributos químicos de um Latossolo Amarelo Distrófico típico sob três condições de uso no perímetro irrigado de Ponto Novo – BA

pH (H ₂ O)	P	K	Al	Ca	Mg	CTC	MO	V	m
	mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³			g kg ⁻¹	%	
Caatinga Nativa									
4,8	3	0,08	0,5	0,4	0,4	3,05	8,04	28,66	35,27
Bananal									
6,0*	122*	0,36*	0,1*	2,2*	2,2*	6,78*	12,98*	60,68*	1,58*
Pastagem									
5,1*	3	0,10*	0,3*	0,8*	0,8*	5,89*	13,14*	31,03	16,06*

pH = potencial hidrogênioônico; P = fósforo (mehlich-1); K = potássio; Al = alumínio; Mg = magnésio; CTC = capacidade de troca catiônica; MO = matéria orgânica; V% = saturação por bases e m% = saturação por alumínio. Médias seguidas por asteriscos diferem do controle ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

O sistema bananal apresentou acidez média, saturação por alumínio muito baixa, muito boa saturação por bases e CTC média (CFSEMG et al., 1999). Verificou-se que as práticas de uso e manejo neste sistema resultaram em alterações nos indicadores de qualidade do solo que refletiram positivamente, na melhoria das condições do mesmo para a produção vegetal, com destaque para o incremento na disponibilidade de nutrientes essenciais, redução das limitações químicas, melhoria das condições físicas e aumento do teor de matéria orgânica

do solo. Neste contexto uma das principais alterações ocorreu na função suprimento de nutrientes, na qual se observou melhoria significativa, na disponibilidade de nutrientes para as plantas, o que pode ser atribuído as práticas de correção do pH e adubação química e o grande aporte de matéria orgânica via deposição dos restos culturais da banana que resultou em melhorias na saturação por bases e por alumínio, CTC, com efeitos positivos na disponibilidade de potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) e redução do teor de alumínio (Al). De referir que o aumento significativo do fósforo estará provavelmente associado à adubação química e ao método de extração utilizado para a sua determinação, no caso o Mehlich-1. Trata-se de fósforo insolúvel, adsorvido as partículas do solo e não disponível para as plantas.

A restituição dos restos culturais resultou em uma das mais importantes alterações decorrente do cultivo da banana em relação às condições naturais do solo, na caatinga. Godefroy & Jacquin (1975), relataram que as quantidades de resíduos restituídas ao solo pela cultura da banana são as mesmas de uma floresta tropical, o que pode proporcionar produções permanentes e mais frequentes de compostos húmicos, resultando em melhor qualidade física do solo, com todos os efeitos positivos associados à sua acumulação no solo, a exemplo da melhoria na agregação, fornecimento de nutrientes, aumento da capacidade de troca catiônica, complexação de elementos tóxicos, retenção de cations e de carbono, e fornecimento de energia e nutrientes aos microrganismos do solo (Bayer & Mielniczuk, 1999; Silva & Mendonça, 2007).

Essas alterações químicas resultaram em melhorias na função suprimento de nutrientes para o bananal. Na caatinga essa se apresentava com valor de 0,17, ruim, com sérias limitações para as plantas, enquanto no bananal o valor da mesma passou para 0,70, portanto, média, resultado decorrente da significativa melhoria de todos os atributos de qualidade determinado por este uso (Tabela 3).

Tabela 3. Índices para as funções principais e valor global dos índices de qualidade dum Latossolo Amarelo Distrófico típico sob três diferentes sistemas de uso no Semi-árido Bahiano

Funções/Índices ⁽¹⁾	Caatinga Nativa	Bananal	Pastagem	DMS ^a _(0,05)
CRP	0,83	0,92*	0,63*	0,0778
CAA	0,62	0,56*	0,64	0,0603
SN	0,17	0,70*	0,54*	0,0618
IQS	0,61	0,73*	0,61	0,0438

¹ CRP = crescimento radicular em profundidade; CAA = capacidade de armazenar água; SN = suprir nutrientes; IQS = índice de qualidade do solo (CRP x 0,4 + CAA x 0,4 + SN x 0,2). Médias seguidas por asteriscos diferem do controle ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

^a DMS = Diferença Mínima Significativa

Em relação à função crescimento radicular em profundidade, verificou-se a mesma tendência da função suprimento de nutrientes, porém sem a mesma magnitude de melhoria, mas consideradas estatisticamente diferentes, e, na mesma classe de enquadramento, sendo no caso ótimo.

O sistema de uso e manejo bananal melhorou significativamente os atributos resistência à penetração, macroporosidade e saturação por alumínio reduzindo seus valores em relação à caatinga, não havendo diferenças na densidade do solo, cujo valor permaneceu exatamente igual. Em relação aos indicadores desta função suas alterações podem ser atribuídas ao maior aporte de matéria orgânica incorporada e em cobertura, que terá resultado em melhoria da estrutura do solo, resultando numa maior estabilidade dos agregados e redução da macroporosidade, com consequências positivas para a condutividade hidráulica do solo saturado, que melhorou no bananal quando comparado à caatinga. Segundo Iori et al. (2012), em sistemas de manejo cultivados com banana mesmo não havendo o tráfico de máquinas, as práticas culturais realizadas alteram a resistência a penetração resultando em uma modificação na capacidade de suporte de carga em relação a mata nativa e aos demais usos por eles avaliados. Quanto à macroporosidade (Tabela 4), verifica-se que os valores encontrados estão dentro dos limites descritos por Carter (2002) e demonstra a priori não haver

limitações de aeração e de crescimento radicular. A melhoria da macroporosidade pode ser mais um efeito benéfico do aumento da matéria orgânica via aporte de resíduos culturais e seu efeito positivo no desenvolvimento da estrutura do solo, conforme verificaram Dao (1996), Argenton et al. (2005), Fonseca et al. (2007).

Na função condução e armazenamento de água (CAA), ao contrário do esperado, verificou-se que o sistema bananal resultou em diminuição do índice de qualidade provavelmente, devido ao tipo de modificação sofrida pelo espaço poroso total determinado pela melhoria da estrutura, via aporte de matéria orgânica, tendo como consequência a redução da capacidade do solo atender a demanda das plantas por água, que em uma região semiárida pode ser uma desvantagem, porém tratando-se de uma área irrigada tal efeito não resulta em grandes prejuízos para o sistema de produção, tendo em vista que a oferta de água é feita de forma controlada e sempre para a manutenção dos níveis de umidade favoráveis as plantas. No entanto, analisando-se individualmente os atributos de qualidade associados a esta função percebe-se a significativa melhoria da condutividade hidráulica do solo saturado, que passou da classe rápida para a moderada, considerada por Beutler, (2003) como ideal para manter o equilíbrio entre a aeração, infiltração e retenção de água no solo. Quanto à macroporosidade observou-se redução significativa o que pode ser atribuída a reestruturação do solo pela matéria orgânica. Os valores da relação $U_{V_{33kPa}}/PT$ foram inferiores ao limite crítico estabelecido para este indicador (Souza et al., 2003) e, portanto, limitante no bananal como na caatinga, contudo, o valor de AD/PT foi superior a caatinga nativa.

O sistema de manejo utilizado na pastagem resultou em acidez média do solo, baixa saturação por alumínio, média saturação por bases e capacidade de troca catiônica (CFSEMG, 1999). Neste sistema, embora tenha se constatado melhorias na disponibilidade de nutrientes, redução das limitações químicas e incremento de matéria orgânica do solo, observou-se que as práticas de uso e manejo resultaram na degradação das condições físicas dos solos para a produção vegetal. As alterações observadas na função suprimento de nutrientes, na qual se verificou uma melhoria significativa na disponibilidade de nutrientes para as gramíneas, foi resultado das adubações e calagem para correção do pH, aumentando a disponibilidade de elementos como Ca, Mg e K, como também verificaram Fullin &

Dadalto (2001). O conteúdo de matéria orgânica neste sistema foi superior à caatinga nativa, e este incremento deve ser atribuído à alta capacidade de produção de massa foliar das gramíneas e do espalhamento de restos vegetais proporcionados pelas máquinas de colheita do capim na área. (Castro Filho, 1988; Calegari & Pavan 1995; Leite et al., 2003). As práticas de adubação e calagem para redução do pH, resultaram em melhoria da função suprimento de nutrientes, que na condição de caatinga foi avaliada como ruim (0,17) e na condição de pastagem passou para média (0,54), melhorando a disponibilidade de nutrientes para as plantas, fato atribuído a significativa melhoria dos atributos de qualidade que compõem esta função (Tabela 3).

A degradação da qualidade física do solo na função crescimento radicular em profundidade no sistema pastagem foi resultado do aumento da RP_{100kPa} e da densidade do solo, cujos valores ficaram acima do limite crítico de 2 MPa e 1,52 kg/dm³ respectivamente (Tabela 4). O aumento da resistência a penetração de raízes foi resultado da compactação determinada pelo trânsito de máquinas, o que resultou em maior densidade do solo e menor volume de macroporos quando comparado com a caatinga nativa. Resultados semelhantes foram encontrados por Tormena et al. (1998) estudando os fatores que interferem na compactação e em algumas propriedades físicas em sistema de plantio direto e por Silva et al. (2007), quando avaliaram as alterações provocadas pelo tráfego de tratores e implementos nas entrelinhas de uma floresta de eucalipto.

Tabela 4. Valores dos indicadores de qualidade dum Latossolo Amarelo Distrófico típico sob três diferentes sistemas de uso no semiárido baiano

Indicadores ⁽¹⁾	Caatinga Nativa	Bananal	Pastagem	DMS ^a _(0,05)
Função crescimento radicular em profundidade				
Rp _{100kPa}	1,66	0,98*	2,49*	0,3141
Mp (m ³ m ⁻³)	0,25	0,15*	0,21*	0,0156
Ds (kg dm ⁻³)	1,50	1,50	1,57*	0,0313
m (%)	35,27	1,58*	16,06*	5,5418
Função condução e armazenamento de água				
K _o (cm h ⁻¹)	22,89	9,87*	25,45	6,5853
Mp (m ³ m ⁻³)	0,25	0,15*	0,21*	0,0156
Uv _{33kPa} /PT	0,28	0,27	0,39*	0,0331
AD/PT	0,43	0,45*	0,45*	0,0132
Função suprimento de nutrientes				
pH	4,81	6,05*	5,12*	0,2834
CTC (cmol _c dm ⁻³)	3,05	6,78*	5,89*	0,5695
V (%)	28,66	60,68*	31,03	6,8180
MO (g kg ⁻¹)	8,04	12,98*	13,14*	1,5271

¹ RP_{100kPa} = resistência à penetração a 100kPa de umidade no solo; MP = macroporosidade do solo; Ds = densidade do solo; m% = saturação por alumínio; Ko = condutividade hidráulica do solo saturado; Uv_{33kPa}/PT = relação umidade volumétrica retida a 33kPa/porosidade total do solo; AD/PT = relação água disponível/porosidade total do solo; pH = potencial hidrogeniônico; CTC = capacidade de troca de cátions; V% = saturação por bases e M.O. = matéria orgânica; Médias seguidas por asteriscos diferem do controle ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett. ^a DMS = Diferença Mínima Significativa

Na pastagem a função condução e armazenamento de água não sofreu alteração significativa no valor do índice, tendo permanecido na mesma classe da caatinga nativa, considerada média (Tabela 3). Analisando-se os atributos que compõem esta função (Tabela 4), verificou-se aumento da condutividade hidráulica saturada, a qual passou da classe moderada a rápida na caatinga para rápida na pastagem, não refletindo, portanto, o efeito do aumento da densidade do solo e redução significativa da macroporosidade. No entanto, essas alterações refletiram positivamente nas relações Uv_{33kPa}/PT e AD/PT, as quais melhoram também significativamente em relação à caatinga. Este resultado é semelhante

aos registros de literatura, os quais vinculam a mecanização com o desenvolvimento de processos de compactação, diminuição da porosidade total e macroporosidade e aumento da microporosidade do solo (Tormena et al., 1998; Silva et al., 2000).

Os valores calculados para os índices globais de qualidade do solo (IQS) mostram o efeito dos sistemas avaliados, tendo em vista as distintas classes de qualidade identificadas. A caatinga nativa, situação de referência, apresentou qualidade do solo regular (0,61), sendo o suprimento de nutrientes para as plantas sua função mais limitante. A pastagem apresentou o mesmo valor global da caatinga, porém com significativa redução da função crescimento radicular em profundidade e melhoria da função suprimento de nutrientes, sendo esta a alteração mais significativa determinada por este sistema de uso em relação a situação de referência. O bananal melhorou significativamente o índice global de qualidade do solo estudado, o qual passou de 0,61 (regular) para 0,73 (ótima), observando-se significativa diferença para as funções crescimento radicular em profundidade e suprimento de nutrientes. Quanto à função condução e armazenamento de água, não obstante as modificações positivas observadas nos indicadores de qualidade, verificou-se redução do seu índice, cuja razão pode ser atribuída as relações que envolvem a macroporosidade, especialmente a relação Uv_{33KPa}/PT , que não foi modificada pelo sistema de uso.

CONCLUSÕES

1. O manejo usado no cultivo da bananeira foi mais sustentável e promoveu melhoria da qualidade do solo.
2. O sistema de manejo utilizado na pastagem para a produção de capim resultou no aumento da densidade e resistência do solo à penetração de raízes, além de redução da macroporosidade, tornando-o menos eficiente no desempenho de suas funções agrícolas.
3. A matéria orgânica do solo foi o indicador mais sensível ao efeito do uso e manejo e que mais contribui para a melhoria dos índices de qualidade observados, especialmente no sistema bananal quanto no sistema pastagem.

LITERATURA CITADA

- ARGENTON, J.; ABUQUERQUE, J.A.; BAYER, C. & WILDNER, L. P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. R. Bras. Ci. Solo, 29:425-435, 2005
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B. & LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5. Aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.25-32.
- BRADY, N. C. Natureza e propriedades dos solos. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989.
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo. Porto Alegre, 1999. p.9-26.
- BEUTLER, A.N.; SILVA, N. L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; CRUZ, J.N. & PEREIRA FILHO, I.A. Resistência a penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho Distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. R. Bras. Ci. Solo, 25:167-177, 2001.
- CALEGARI, A. & PAVAN, M. A. Efeitos da rotação de milho com adubos verdes de inverno na agregação do solo. Arquivos de Biologia e Tecnologia, Curitiba, 38:45-53, 1995.
- CASTRO FILHO, C. Effects of liming on characteristics of a Brazilian Oxisol at three levels of organic matter as related to erosion. 1988. (Tese) – State University, Columbus, Ohio.
- CARTER, M.R. Organic matter and sustainability. In: REES, B.C.; BALL, B.C.; CAMPBELL, C.D. & WATSON, C.A., eds. Sustainable management of soil organic. Wallingford, CAB International, 2001. p.9-22.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DE MINAS GERAIS - CFSEMG. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. (5ª Aproximação). Viçosa, MG, 1999. 359p.
- DAO, T.H. Tillage system and crop residue effects on surface compaction of a paleustoll. Agronomy Journal, 88:141-148, 1996.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2ª ed. Rio de Janeiro, Ministério da agricultura e do Abastecimento, 2006. 306p.
- EMBRAPA. Centro de Pesquisas de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

- FONSECA, G. C.; CARNEIRO, M. A. C.; COSTA, A. R.; OLIVEIRA, G. C. & BALBINO, L. C. Atributos físicos, químicos e biológicos de Latossolo Vermelho distrófico de cerrado sob duas rotações de cultura. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 37:22-30, 2007.
- FULLIN, E.A. & DADALTO, G.G. Avaliação da fertilidade do solo e do estado nutricional das plantas. In: DADALTO, G. G. & FULLIN, E.A. (Ed.). Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo: quarta aproximação. Vitória, SEEA & INCAPER, 2001. p.21-55
- 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. *Agric. Ecosys. Environ.*, 80:29-45, 2000
- GODEFROY, J. & JACQUIN, F. Relation entre la stabilité structurale des sols cultivés et le apports organiques en conditions tropicales;comparasion avec les sols forestiers. *Fruits*, Paris, 30:595-612, 1975.
- IORI, P.; DIAS JUNIOR, M. S.; SILVA, R. B. Resistência do solo à penetração e ao cizamento em diversos usos do solo em áreas de preservação permanente. *Biosci. J.*, Uberlandia, Supplement 1 28:185-195, 2012.
- KARLEN, L.D. & D.E. STOTT. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: Defining soil quality for a sustainable environment. J.W. Doran, D.C. Coleman, D.F. Bezdicek and B.A. Stewart (eds). *Soil Sci. Soc. Am. Special publication*, 1994. 35:53-72.
- KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M.J.; DORAN, J.W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R.F. & SCHUMAN, G.E. Soil quality: A concept, defininition, and framework for evaluation (A guest editorial). *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61:4-10, 1997.
- LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, J.C.L.; MACHADO, P.L.O.A. & GALVÃO, J.C.C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:821-832, 2003.
- LARSON, W.E.& PIERCE, F.J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J. W. et al., Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, WI: Soil Science Society of America, 1994, p.37–52, (Special publication, 35).
- MALAVOLTA, E. . ABC da Adubação. 5ª. ed. São Paulo: Agronômica Ceres Ltda., 1989. p. 292.
- MENEZES, R. C. S.; GARRIDO, M. da S. & PEREZ M., A. M. Fertilidade dos solos no semi-árido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005. Recife. Palestras. Recife: UFRPE/SBCS, 2005. CD-ROM.
- MELO FILHO, J.F. SOUSA, A.L.V.: O manejo e a conservação do solo no Semiárido baiano: desafios para a sustentabilidade, *Bahia Agrícola*, 7:50-60, 2006.

- MEURER, E.J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V. V.H; BARROS, N.F.; FONTES, R.LF.; CANTURATTI, R.B. & NEVES, J.C.L. Fertilidade do solo. 1.ed. Viçosa-MG: SBCS, 2007. p.65-90.
- RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba, Agronômica Ceres, Potafós, 1991. 343p.
- SAMPAIO, E.V.S.B.; ARAÚJO, M. do S.B. & SAMPAIO, Y.S.B. Impactos ambientais da agricultura no processo de desertificação no Nordeste do Brasil. Revista de Geografia, 22:90-112, 2005.
- SILVA, S.R.; BARROS, N.F.; COSTA, L.M.; E. S. MENDONÇA, E.S. & LEITE, F.P. Alterações do solo influenciadas pelo tráfego e carga de um “forwarder” nas entrelinhas de uma floresta de eucalipto. R. Bras. Ci. Solo, 31:371-377, 2007
- SILVA, V. R.; REINERT, D. J. & REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, 24:191-199, 2000.
- SIQUEIRA, J.O. et al., Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental. Brasília: EMRAPA-SPI, 1994. p.7-81
- SOUZA, L. da S.; SOUZA, L. D. & SOUZA, L. F. da S. Indicadores físicos e químicos de qualidade do solo sob o enfoque de produção vegetal: estudo de caso para citros em solos coesos de tabuleiros costeiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. 29., 2003. Ribeirão Preto, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. CD – ROM.
- SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA. – SEI Banco dados. Informações Geoambientais. < Disponível em: www.sei.ba.gov.br>. Acesso em 05 de agosto de 2011.
- TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. & SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. R. Bras. Ci. Solo, 22:301-309, 1998.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O monitoramento das propriedades do solo é uma prática necessária e fundamental para identificar o estado da qualidade do solo, suas funções principais e indicadores limitantes de forma a orientar intervenções visando a sua melhoria. Novas e melhores ferramentas são necessárias para orientar o uso sustentável da terra e as decisões de manejo. No presente estudo, verificou-se que as práticas de uso e manejo agrícola modificam as propriedades do solo e que o uso de plantas de cobertura e a restituição de restos vegetais ao solo, para além de melhorar a disponibilidade de nutrientes para a cultura, garantiram maior aporte de material orgânico, que resultou na síntese de matéria orgânica do solo, indicador este que apresentou estreita relação com a qualidade do solo, influenciando todos os outros atributos.

A avaliação da qualidade do solo usando as três funções definidas mostrou-se promissora para o monitoramento da qualidade do solo em ambientes tropicais, porém deve-se ressaltar que qualquer modelo alternativo deve transformar a natureza complexa e específica de cada solo em atributos mensuráveis, que possam refletir o seu estado para o desempenho numa função, possibilitando avaliações sistemáticas independentemente do seu ambiente, ou usos múltiplos. Importa também referir, que o grande desafio da qualidade do solo, não está na identificação de indicadores e sua avaliação, e sim no planejamento de sistemas de uso e manejo complexos que privilegiem o cultivo diversificado de culturas e em rotação.