

USO DE ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS, BIOLÓGICOS
E BIOQUÍMICOS PARA A INDICAÇÃO E PREDIÇÃO DE
DEGRADAÇÃO EM SOLO DE TABULEIRO COSTEIRO

RODRIGO FERNANDES HERRERA ESTEVAM

CRUZ DAS ALMAS - BAHIA

DEZEMBRO - 2011

USO DE ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS, BIOLÓGICOS
E BIOQUÍMICOS PARA A INDICAÇÃO E PREDIÇÃO DE
DEGRADAÇÃO EM SOLO DE TABULEIRO COSTEIRO

RODRIGO FERNANDES HERRERA ESTEVAM

Engenheiro Agrônomo

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2007

Dissertação submetida ao Colegiado de Curso do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Ciências Agrárias, Área de Concentração: Agricultura Irrigada e Sustentabilidade de Sistemas Hidroagrícolas.

ORIENTADOR: PROF. DR. JOSÉ FERNANDES DE MELO FILHO

COORIENTADOR: PROF. DR. ALDO VILAR TRINDADE

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
MESTRADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CRUZ DAS ALMAS - BAHIA - 2011

FICHA CATALOGRÁFICA

E79 Estevam, Rodrigo Fernandes Herrera.
 Uso de atributos físicos, químicos, biológicos e bioquímicos para a
 indicação e predição de degradação em solo de Tabuleiro Costeiro /
 Rodrigo Fernandes Herrera Estevam. _ . Cruz das Almas, BA, 2011.
 53f.; il.

 Orientador: José Fernandes de Melo Filho.
 Coorientador: Aldo Vilar Trindade.

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

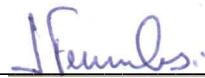
 1.Latossolos - Manejo. 2.Solos - Qualidade. I.Universidade Federal
 do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e
 Biológicas. II. Título.

CDD: 631.43

COMISSÃO EXAMINADORA

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DO
ALUNO RODRIGO FERNANDES HERRERA ESTEVAM**



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



Prof. Dr. Luciano da Silva Souza
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB



Dr. Francisco Alisson da Silva Xavier
Embrapa Mandioca e Fruticultura

Dissertação homologada pelo Colegiado do Curso de Mestrado em Ciências Agrárias em

Conferindo o Grau de Mestre em Ciências Agrárias em

DEDICO

À Cleunice Pereira dos Santos, pelo seu incentivo e companhia a cada momento.

À Simone Senhora Fernandes, pelo seu amor e dedicação em toda a minha vida.

AGRADEÇO

À UFRB e à Embrapa Mandioca e Fruticultura pela oportunidade.

Ao Prof. José Fernandes de Melo Filho e Dr. Aldo Vilar Trindade pela orientação e confiança.

À Capes e à Fapesb pelas bolsas de estudo.

Aos técnicos de laboratório Arivaldo Conceição Santos, João Vieira Costa, Luciano Ricardo Braga Pinheiro, Názez Souza Bittencourt e Roque Francisco Barbosa pela paciência e treinamento.

À Crispim dos Santos Santana, Amaro Vicente Duda, Antonio Marcos Santos Pereira, Bibiano Ferreira Filho, Jorge Luis Santos de Jesus, Lourenço de Oliveira Teixeira, Marivaldo Marques da Silveira, Maria Celeste Marques Rebouças, Newton Jorge Dias Leite e à Tauhan Erick Maia pelo apoio no campo.

Aos colegas Afrânio dos Anjos Santos Mendes da Silva, André Santos de Oliveira, Ana Carolina Oliveira Fernandes, Cláudio Rios Ribeiro, Devison Souza Peixoto, Hélio Macedo Gomes, João José da Silva Junior, Joelma Batista dos Santos, José Carlos de Jesus do Carmo, Elielson Lima Aquino, Lorena Alves Mattos, Paulo Ronaldo Rocha Assunção, Reginaldo Ribeiro de Oliveira e Roberval Oliveira da Silva pelas colaborações.

Ao Dr. Eugênio Ferreira Coelho, Dr. Francisco Alisson da Silva Xavier, Dr. Marcelo Ferreira Fernandes, Prof. Carlos Alberto da Silva Ledo, Dr. Jorge Antonio Gonzaga Santos, Dr. Laércio Duarte Souza, Prof. Luciano da Silva Souza e ao Prof. Thomas Vincent Gloaguen por várias dúvidas elucidadas.

SUMÁRIO

| | Página |
|--|--------|
| RESUMO | |
| ABSTRACT | |
| INTRODUÇÃO | 1 |
| Capítulo 1 | |
| ALTERAÇÕES NA QUALIDADE DE UM LATOSSOLO AMARELO DISTROCOESO DETERMINADAS PELA FREQUÊNCIA DO PREPARO PERIÓDICO | 17 |
| Capítulo 2 | |
| USO DE ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS, BIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS PARA INDICAR E PREDIZER PROCESSOS DE DEGRADAÇÃO DO SOLO | 35 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS | 53 |

USO DE ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS, BIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS PARA A INDICAÇÃO E PREDIÇÃO DE DEGRADAÇÃO EM SOLO DE TABULEIRO COSTEIRO

Autor: Rodrigo Fernandes Herrera Estevam

Orientador: José Fernandes de Melo Filho

Coorientador: Aldo Vilar Trindade

RESUMO: A falta de critérios ou ferramentas adequadas para monitorar a qualidade do solo faz com que a degradação somente seja detectada em estádios avançados, dificultando a adoção de medidas preventivas e corretivas. Assim, este trabalho objetivou avaliar o uso de atributos físicos, químicos, biológicos e bioquímicos para indicar e prever processos de degradação. Para tanto, em uma área de Latossolo Amarelo Distrocoeso na Embrapa Mandioca e Fruticultura, promoveram-se cinco níveis de distúrbios do solo induzidos por eventos mensais de aração e gradagem, que seguem: T₀ (Controle), T₁ (2 eventos), T₂ (4 eventos), T₃ (6 ventos) e T₄ (8 ventos). Foram utilizados como indicadores os atributos: velocidade de infiltração básica da água no solo, porosidade do solo, condutividade hidráulica em solo saturado, tamanho e estabilidade de agregados, água disponível, pH, fósforo disponível, acidez potencial, soma de bases, saturação por alumínio, capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases, matéria orgânica do solo, biomassa microbiana, respiração basal do solo e atividade de enzimas. Verificaram-se alterações na qualidade do solo, como redução na capacidade do mesmo para permitir o crescimento radicular, conduzir e armazenar água e melhoria na capacidade de suprir nutrientes. Dentre os atributos avaliados, foram adequados para indicar o nível de degradação do solo o diâmetro médio ponderado de agregados, a percentagem de agregação, a microporosidade, o pH, a acidez potencial, a CTC, as atividades enzimáticas de β -glicosidase, fosfatase, invertase, xilanase e atividade microbiológica total. Entretanto, somente a atividade de xilanase foi adequada para prever o início do processo de degradação.

Palavras-chave: funções do solo, bioindicadores, atividade enzimática.

USE OF PHYSICAL, CHEMICAL, BIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL ATTRIBUTES FOR THE INDICATION AND PREDICTION OF SOIL DEGRADATION OF COSTAL TABLELAND

Author: Rodrigo Fernandes Herrera Estevam

Adviser: José Fernandes de Melo Filho

Co-adviser: Aldo Vilar Trindade

ABSTRACT: The lack of criteria and appropriate tools to monitor soil quality causes a late detection of the soil degradation, hindering the adoption of preventive and corrective measures. Therefore, this study aimed to evaluate the use of physical, chemical, biological and biochemical attributes to indicate and predict soil degradation. The experiment was set up in the experimental field of the Embrapa Cassava and Fruits Crops, on a Yellow Oxisol with subsurface cohesion. Five degrees of soil disturbance were achieved by monthly events of plowing and harrowing, as follows: T₀ (control), T₁ (2 events), T₂ (4 events), T₃ (6 events) and T₄ (8 events). Aggregate size and stability, soil bulk density, soil porosity, basic rate of water intake in the field, soil saturated hydraulic conductivity, available water capacity, pH, available phosphorus, potential acidity, sum of bases, aluminum saturation, cation exchange capacity (CEC), base saturation and soil organic matter, microbial biomass, soil respiration and enzymes activity were used as indicators. Alterations in soil quality, such as reduction capacity to allow root depth growth and water conduction and storage, and improvement in nutrient supply were observed. The mean weight diameter of aggregates, percentage of aggregation, microporosity, pH, potential acidity, CEC, activities of β -glucosidase, phosphatase, invertase and xylanase and total microbial activity were adequate to indicate the level of soil degradation, but only the xylanase activity was adequate to predict the beginning of the degradation process.

Keywords: soil functions, bioindicators, enzymatic activity.

INTRODUÇÃO

Os Tabuleiros Costeiros (TC) são paisagens formadas por platôs de origem sedimentar, que apresentam grau de entalhamento variável, com altitudes de 20 a 220 m, e ocupam uma área de quase 20 milhões de hectares, que se distribuem por boa parte do litoral brasileiro, do Amapá ao Rio de Janeiro, com médias de precipitação variando entre 1.000 e 2.300 mm anuais (JACOMINE, 1996; SOUZA, 1996). No Nordeste Brasileiro, a região dos TC apresenta uma concentração urbana de 45% da população nos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Sergipe. Esses estados já foram responsáveis por 26,4% e 38,2% do PIB gerado por culturas temporárias e permanentes, respectivamente, dentre elas cultivos como cana-de-açúcar, citros, manga, mamão, banana, coco, maracujá, feijão, milho, amendoim, eucalipto, café, mandioca, inhame e batata-doce (CINTRA et al., 1997).

No ecossistema dos Tabuleiros Costeiros, nos estados de RJ, ES, BA, SE, AL, PE, PB e RN, predominam os Latossolos Amarelos e os Argissolos Amarelos, com, respectivamente, 4,3 milhões e 1,6 milhões de hectares (JACOMINE, 1996). Em condições naturais, tais solos apresentam, em profundidades variáveis, de 0,30 a 0,70 m, um impedimento físico de origem pedogenética, denominado de horizontes coesos, que se apresentam muito duros ou extremamente duros quando secos e friáveis quando úmidos, dificultando a penetração de raízes e a distribuição e o armazenamento de água ao longo do perfil (JACOMINE, 1996; REZENDE, 2000; RIBEIRO, 1996; SOUZA, 1996). Somado a isso, tais solos apresentam ainda limitações químicas por elevada acidez e altas percentagens de alumínio trocável, resultando em um baixo índice de qualidade para o crescimento das plantas e produção vegetal (SOUZA, 2005).

1. Qualidade do solo

A qualidade do solo tem sido definida como a capacidade de um solo funcionar nos limites do ecossistema, para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde vegetal e humana (DORAN; PARKIN, 1994).

As funções do solo estão explicitadas em sua definição de qualidade; no entanto, a eleição, interpretação ou descrição de um conjunto de funções tem ficado a cargo do pesquisador e dependente do enfoque que tenham seus estudos, ora para comparar práticas de manejo, sistemas agrícolas e florestais, ora para monitorar os impactos de sistemas de uso em microbacias. Sendo assim, para funcionar como substrato agrícola, Karlen e Stott (1994) definiram que o solo deve funcionar para: a) permitir a entrada de água; b) facilitar a transferência e a absorção de água pelas plantas; c) resistir à degradação e d) promover e sustentar o crescimento de plantas; para Larson e Pierce (1994), as principais funções do solo são: a) prover um meio para o crescimento vegetal e habitat para animais e microrganismos; b) regular o fluxo da água no ambiente; e c) servir como um “tampão ambiental” na atenuação e degradação de compostos químicos prejudiciais ao meio ambiente.

1.1. Indicadores da qualidade do solo

Para avaliar determinadas funções do solo, é preciso selecionar atributos, propriedades ou processos que, de alguma maneira: a) influenciem a finalidade para a qual o solo está sendo avaliado; b) sejam mensuráveis e comparados a padrões definidos; e c) sejam sensíveis o bastante para mostrar diferenças em escala espacial ou temporal (KARLEN et al., 1997). De acordo com Liebig e Doran (1999), devem ser escolhidos atributos que possam ser utilizados em áreas distintas, independentemente da diversidade de situações que prevaleçam. Mas, segundo Bouma (2002), devido à complexidade do sistema solo e o uso de diversos manejos e condições climáticas adversas, ainda não há um conjunto preciso de atributos que possa ser utilizado universalmente para caracterizar a qualidade do solo (CARVALHO, 2008; LIMA, 2007).

Expressar a qualidade e a produtividade do solo em termos de atributos químicos, físicos e biológicos condiz com o contexto dos sistemas agrícolas, que

são quase que totalmente dependentes do suprimento de nutrientes por adubação (SCHOENHOLTZ et al., 2000). Sendo assim, os atributos mais utilizados no monitoramento da qualidade do solo têm sido a resistência à penetração, a estabilidade de agregados, a densidade do solo, a porosidade, a infiltração, a condutividade hidráulica do solo saturado, a retenção de água, o pH, a soma de bases, a capacidade de troca de cátions, a saturação por alumínio, o conteúdo de matéria orgânica, a respiração e biomassa microbiana e a atividade de algumas enzimas (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007; GOMES; FILIZOLA, 2006).

1.2. Índice de qualidade do solo

O monitoramento da qualidade do solo é importante para identificar problemas de produção nas áreas agrícolas, estimar a produção de alimentos, avaliar a sustentabilidade e qualidade ambiental em relação ao manejo agrícola e orientar políticas de uso sustentável do solo (Souza et al., 2003). Em função disso, muitas metodologias de avaliação da qualidade do solo foram e estão sendo testadas, quase sempre se buscando determinar um modelo universal para o cálculo de um índice de qualidade do solo (IQS).

O modelo que mais tem sido testado foi proposto por Karlen e Stott (1994), o qual consiste na definição das funções principais que determinam a qualidade do solo, seguida da identificação dos atributos de qualidade associados a cada função, cujos valores medidos são padronizados e integrados para a geração de um índice numérico entre 0 e 1 (MELO FILHO et al., 2007). Utilizando essa estratégia, Souza et al. (2003) reuniram um excelente conjunto de argumentos e critérios para avaliar solos coesos, bastante utilizado em comparações de agroecossistemas e manejos de solos (CARVALHO, 2008; CONCEIÇÃO, 2008; DIAS, 2006; SILVEIRA, 2007; SILVEIRA, 2009; SOUZA, 2005).

Estudos de monitoramento da qualidade em solos agrícolas têm sido realizados tomando como referência solos de ambientes divergentes como floresta ou remanescente de mata. Entretanto, segundo Chaer e Fernandes (2009), o uso de tratamentos constituídos por uma série crescente de operações de araques e gradagens em delineamento experimental é um método eficiente para gerar um gradiente de qualidade do solo, sendo por tanto, um ambiente

propício para estudos de diversos fenômenos inerentes à perda de qualidade do solo, como alterações em atributos, funções do solo e suas inter-relações.

2. Potencial preditivo dos indicadores biológicos da qualidade do solo

“A atividade microbiológica inclui todas as reações metabólicas celulares, suas interações e seus processos bioquímicos mediados ou conduzidos pelos organismos do solo” (SIQUEIRA et al., 1994). Sendo assim, os microrganismos possuem a capacidade de dar respostas rápidas a mudanças na qualidade do solo, característica que não é observada nos atributos químicos ou físicos. Em alguns casos, alterações na população e na atividade microbiana podem preceder mudanças nas propriedades químicas e físicas, refletindo um claro sinal na melhoria ou na degradação do solo (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

A **biomassa microbiana** é considerada o compartimento vivo da matéria orgânica do solo, incluindo bactérias, actinomicetos, fungos, protozoários, algas e microfauna e excluindo raízes e animais maiores que $5,0 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$. Tal compartimento corresponde de 2 a 5% do C orgânico total e de 1 a 5% do N total do solo (SANTOS et al., 2008; WARDLE, 1994). Segundo Moreira e Siqueira (2002), a biomassa microbiana é a principal fonte de enzimas responsáveis por quase toda a atividade biológica no solo, catalisando as transformações bioquímicas, representando fonte e dreno de carbono e troca de nutrientes entre a atmosfera e o ecossistema solo-planta. Modificações mensuráveis na biomassa microbiana do solo têm sido observadas em razão das práticas de preparo do solo, do manejo de plantas e da adubação (MARCHIORI JUNIOR; MELO, 2000).

O **carbono da biomassa microbiana** (CBM) e o **nitrogênio da biomassa microbiana** (NBM) referem-se ao carbono e ao nitrogênio presentes nas substâncias orgânicas constituintes de células microbianas, sendo então utilizados para estimar a biomassa microbiana. O CBM indica o potencial de reserva de C no solo, permitindo avaliar o seu acúmulo ou perda em função do manejo ou condição edáfica (SANTOS et al., 2008). O **quociente microbiano** (qMic) refere-se à relação entre o CBM e o carbono orgânico total do solo (COT) e expressa a quantidade de carbono imobilizado na biomassa, podendo ser utilizado como índice comparativo da qualidade do solo sob diferentes manejos (SILVA, 2001). O NBM é utilizado também para avaliar a dinâmica do nitrogênio

em agroecossistemas, pois a biomassa microbiana controla a disponibilidade e as perdas de nitrogênio inorgânico no solo, por meio dos processos de mineralização e imobilização. A **relação CBM/NBM** indica o potencial de mineralização de N e mudanças na composição microbiana, em que valores acima de 10 indicariam predomínio de fungos, e abaixo deste valor predomínio de bactérias (LI et al., 2004).

A **respiração basal do solo** (RBS) consiste na medida da produção de CO₂ resultante da atividade metabólica dos microrganismos no solo e raízes vivas, sendo importante componente do ciclo de carbono do ecossistema terrestre (PARKIN et al., 1996). A relação da medida de RBS pelo CBM é denominada **quociente metabólico** (qCO₂) e fornece a quantidade de CO₂ evoluída por unidade de biomassa, indicando a eficiência da biomassa microbiana em utilizar o carbono disponível para biossíntese, que é diminuída em circunstâncias de estresse, de cultivo ou de queimadas (WARDLE, 1993), sendo um sensível indicador para estimar a atividade biológica e a qualidade do substrato (SAVIOZZI et al., 2002). Em solos sob interferência antrópica, verificaram-se mudanças na composição e atividade dos microrganismos, bem como maiores atividades metabólicas específicas, devido ao estresse da população (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

2.1. Atividade de enzimas no solo

Assim como os atributos biológicos, as análises de atividade enzimática no solo têm detectado alterações provocadas pelo uso, manejo ou outras influências antrópicas com maior antecedência do que os atributos físicos e químicos (CHAER; TÓTOLA, 2007; MATSUOKA et al., 2003; PASSOS, 2008; SILVA, 2008).

De acordo com Araújo e Monteiro (2007), as enzimas são mediadoras do catabolismo biológico de componentes orgânicos e minerais do solo e estão presentes no solo tanto associadas às células microbianas (enzimas intracelulares), quanto não associadas (enzimas extracelulares). Esses autores citaram três considerações importantes sobre a atividade enzimática no solo, enumeradas por Dick (1997): 1) ser relacionada com a matéria orgânica, com as propriedades físicas e com a atividade microbiana; 2) ser um claro indicador de

mudanças na qualidade do solo; e 3) envolver metodologias simplificadas para sua quantificação.

A enzima **arilsulfatase** hidrolisa ligações do tipo éster de sulfato, liberando íons sulfato e tornando o enxofre orgânico disponível às plantas pela mineralização da matéria orgânica (TABATABAI; BREMNER, 1970). Segundo Baligar et al. (1988), a atividade de arilsulfatase no solo decresce com a profundidade e com a diminuição do teor de matéria orgânica, por esta constituir-se na principal reserva de ésteres de sulfato, substratos da enzima (NOGUEIRA; MELO, 2003). Pinto e Nahas (2002) encontraram correlação positiva entre atividade enzimática e C orgânico, e atividade enzimática com S orgânico e também com S total no solo. Nesse estudo, esses autores encontraram também diferenças significativas para a atividade de arilsulfatase em diferentes sistemas de uso, havendo redução na seguinte ordem: floresta integrada > floresta isolada > eucalipto > pastagem > milho.

Fosfatase é um nome genérico para descrever um grupo de enzimas que catalisam a hidrólise de ésteres e anidridos do ácido fosfórico. Essa atividade hidrolítica pode ser catalisada por bactérias, fungos, algas e protozoários, especialmente na superfície do solo. As fosfatases têm sido intensivamente estudadas porque participam do ciclo do fósforo, promovendo a sua liberação na forma iônica ($H_2PO_4^-$), que é utilizada pelas plantas e microrganismos. Segundo Gatiboni et al. (2008), com a diminuição da disponibilidade de fósforo no solo, a quantidade de fósforo armazenada na biomassa microbiana diminui e a atividade de fosfatase aumenta. Esse tributo bioquímico foi utilizado para avaliar o efeito da aração e manejo de resíduos vegetais sobre propriedades do solo (DENG; TABATABAI, 1997); para avaliar o efeito de bactéria solubilizadora de fosfato e micorrizas no crescimento do tomate e atividade microbiana (KIM et al., 1998); e utilizado, também, no desenvolvimento de índice de qualidade do solo correlacionando propriedades biológicas e bioquímicas (TRASAR-CEPEDA et al., 1998).

As **celulases** referem-se a uma classe de enzimas produzidas por fungos, bactérias e protozoários que catalisam a hidrólise da celulose em glicose, processo que representa a maior fonte de carbono para o solo (LYNCH et al.

1981). Quanto à atuação nesse processo as celulases são classificadas em endoglucanases, exoglucanases e β -glucosidases (Figura 1).

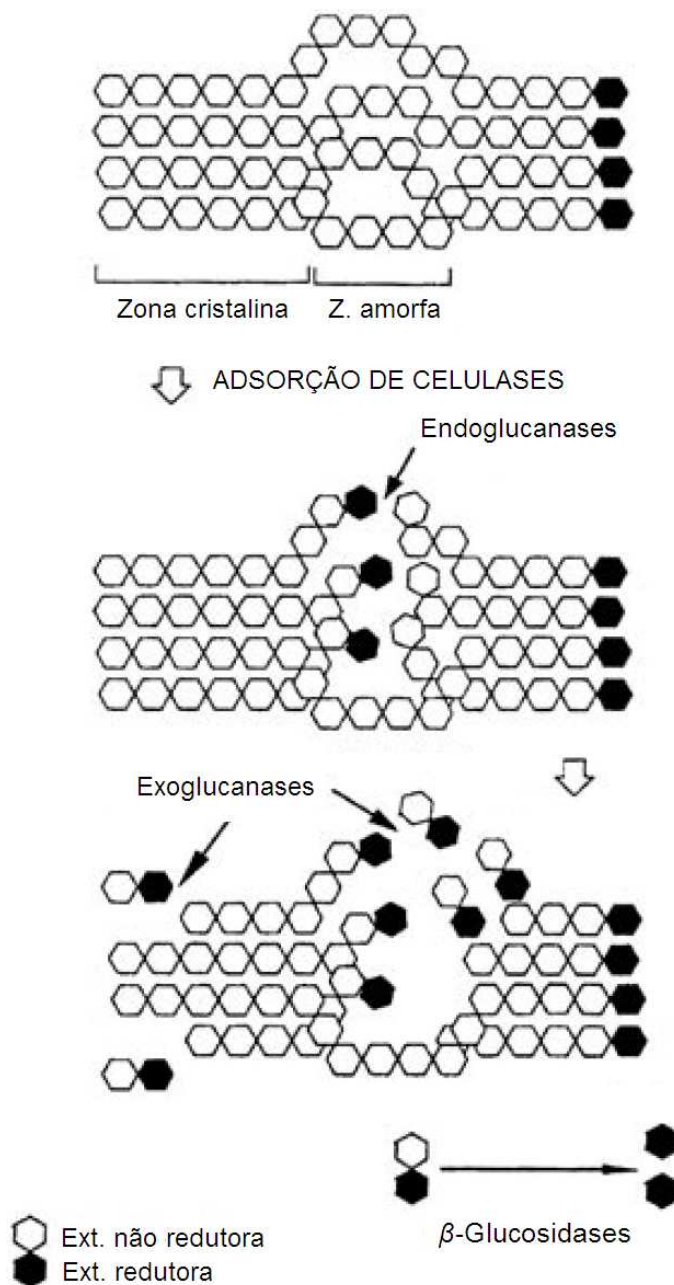


Figura 1. Mecanismo de degradação enzimática da celulose (PALA, 2007).

As **carboximetilcelulases** (CMCases) são endoglucanases que atacam as regiões amorfas da celulose e aumentam o número de sítios disponíveis para a

ação das exoglucanases, conduzindo o substrato a uma despolimerização rápida (PALA, 2007). Marchiori Júnior e Melo (1999) registraram diferença de 44,3% na atividade de CMCase comparando áreas sob pastagem e cultivo anual.

As **β -glicosidases** são enzimas que atuam na etapa final do processo de decomposição da celulose, participando tanto na hidrólise da celobiose como também de oligossacarídeos, liberando açúcar que servirá como fonte de energia para os microrganismos (EIVAZI; TABATABAI, 1998). Dessa forma, alterações no solo que resultam em redução acentuada da atividade dessa enzima podem retardar ou mesmo comprometer o processo de reabilitação da área (CARNEIRO et al., 2008). Dentre os atributos avaliados no trabalho de Chaer e Tótola (2007), a atividade da enzima β -glicosidase ficou entre os mais sensíveis ao efeito do uso ou manejo do solo.

A **invertase** é uma enzima que catalisa a hidrólise de carboidratos como a sacarose em glicose e frutose, ocorrendo normalmente na superfície da célula, mas várias espécies de *Saccharomyces* a produzem de forma extracelular. Entretanto, os vegetais são os maiores fornecedores dessa enzima para o solo. Segundo Melo (1988), pesquisas de meados do século passado já sugeriam que a atividade de invertase indicasse melhor as condições de fertilidade do solo que qualquer outra atividade microbiana, à medida que foram observadas variações significativas na atividade dessa enzima em função do tipo de solo, topografia cobertura vegetal, como também correlações entre seus valores e produtividade de um dado tipo de solo.

A enzima **xilanase** é produzida por fungos, bactérias, algas, protozoários, gastrópodes e artrópodes. Ela atua na degradação da xilana, principal componente da hemicelulose que juntamente com a celulose representam mais de 50% do peso seco dos resíduos agrícolas. Segundo Kandeler et al. (1999), a atividade dessa enzima cai 54% no primeiro centímetro da superfície do solo.

As **lacases** são fenóis-oxidases que catalisam a oxidação de várias substâncias aromáticas (particularmente mono, di e polifenóis); atuam inicialmente na clivagem de cadeias laterais e anéis aromáticos das porções fenólicas da lignina e detoxificam o meio de crescimento dos metabólitos gerados durante a deslignificação. Esse processo permite então que as enzimas

hidrolíticas como a celulase e xilanase entre outras atuam nas fontes de carbono (DURRANT et al. 1991). As lacases encontram-se amplamente distribuídas na natureza, onde mais de 60 tipos já foram isolados a partir de plantas, insetos, bactérias e fungos (ROSATTO, 2001). Chaer e Fernandes (2009) observaram média sensibilidade da atividade dessa enzima à intensidade de distúrbios ocasionados no solo.

Segundo Lanna (2002), um bom indicador da qualidade do solo é a **atividade microbiológica total** (AMT), que é uma medida específica da atividade de proteases, lipases e esterases, que atuam na hidrólise do diacetato de fluoresceína. Essa atividade hidrolítica pode ser catalisada por bactérias, fungos, algas e protozoários, especialmente na superfície do solo (GHINI et al., 1998), representando portanto o potencial heterotrófico do solo, de forma que a alterações nesse atributo podem indicar mudanças na ciclagem de energia do sistema solo-planta e de nutrientes no solo (CARNEIRO et al., 2008). Godoi (2001) utilizou a AMT e verificou sua eficácia como indicadora da qualidade de solos em áreas degradadas, recuperadas e nativas nos cerrados brasileiros. Em adição, Silva et al. (2004) sugeriram que a AMT seja inserida em estudos de monitoramento ambiental.

Pelo exposto, torna-se cada vez mais frequente a procura por ferramentas apropriadas para monitorar a qualidade do solo, de forma que a seleção de atributos e indicadores mais sensíveis e capazes de detectar a degradação com precisão e acurácia, especialmente em seus estádios iniciais, é primordial para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Sendo assim, este trabalho teve por objetivo investigar alterações nas principais funções de qualidade do solo determinadas pela frequência do preparo periódico e avaliar o potencial dos atributos físicos, químicos, biológicos e bioquímico do solo para indicar e prever processos de degradação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

CARNEIRO, R. G. et al. Indicadores biológicos associados ao ciclo do fósforo em solos de Cerrado sob plantio direto e plantio convencional. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 661-669, 2004.

CARNEIRO, M. A. C. et al. Carbono orgânico, nitrogênio total, biomassa e atividade microbiana do solo em duas cronossequências de reabilitação após a mineração de bauxita. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 621-632, 2008.

CARVALHO, F. **Atributos bioquímicos como indicadores da qualidade do solo em florestas de Araucaria angustifolia (Bert.) O.Ktze. no Estado de São Paulo**. 2005. 79f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

CARVALHO, L. L. **Diagnóstico da qualidade do solo em dois sistemas tradicionais de uso e manejo: citros e mandioca**. 2008. 67f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2008.

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.

CHAER, G. M.; TÓTOLA, M. R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1381-1396, 2007.

CHAER, G. M. FERNANDES, M. F. Sensibilidade de propriedades físicas, químicas e biológicas a um gradiente induzido de degradação do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2009. 1 CD-ROM.

CINTRA, F. L. D.; LIBARDI, P. L.; SILVA, A. P. Tabuleiros Costeiros do Nordeste do Brasil: Uma análise dos efeitos do regime hídrico e da presença de camadas coesas nos solos. **Boletim Informativo da Soc. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 22, p. 77-80, 1997.

CONCEIÇÃO, B. P. S. **Métodos para avaliação da qualidade do solo em ambiente tropical**. 2008. 54f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2008.

DIAS, R. C. S. **Qualidade do solo e desenvolvimento radicular de citros em Latossolo Amarelo Coeso sob diferentes sistemas de manejo**. 2006. 67f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2006.

DENG, S. P.; TABATABAI, M. A. Effect of tillage and residue management on enzyme activities in soils: 3 phosphatases and arylsulfatases. **Biol. Fert. Soils**, Berlin, v. 24, n. 2, p. 141-146, 1997.

DICK, R. P. Soil enzymes activities as integrative indicator of soil health. In: ANKHURST C.; DOUBE, B. M.; GUPTA, V. V. S. R. (Org.) **Biological indicators of soil health**. New York: CAB, 1997. p. 121-155.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W. et al. (Eds.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-21.

DURRANT, A.J.; Wood, D.A.; Cain, R.B. Lignocelulose biodegradation by *Agaricus bisporus* during solid state fermentation. **Journal of General Microbiology**, v. 137, p. 751-755, 1991.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F. **Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 8 p.

LUCIANO COLPO GATIBONI, L. C. et al. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatases ácidas durante a diminuição do fósforo disponível no solo. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 43, n. 8, p.1085-1091, 2008

GHINI, R.; MENDES, M. D. L.; BETTIOL, W. Método de hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) como indicador de atividade microbiana no solo e supressividade a *Rhizoctonia solani*. **Summa Phytopathologica**, Jaguariúna, v. 24, n. 3/4, p. 239-242, 1998.

GODOI, L. C. L. **Propriedades microbiológicas de solos em áreas degradadas e recuperadas na região dos cerrados goianos**. 2001. 87f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2001.

GODOY, S. G. et al. Quantidade e atividade da biomassa microbiana no solo sob cultivo orgânico do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 8., 2005, Goiânia, GO. **Anais...** Goiânia: CONAFE, 2005. p. 1070-1073.

GUIMARAES, L. H. S. et al. Screening of filamentous fungi for production of enzymes of biotechnological interest. **Braz. J. Microbiol.**, São Paulo, v. 37, n. 4, 2006. p. 474-480.

JACOMINE, P. K. T. Distribuição geográfica, características e classificações dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS, 1996, Cruz das Almas, BA. **Anais...** Aracaju: EMBRAPA-CPATC, 1996. p. 13-26.

KANDELER, E.; LUXHÛIB, J.; TSCHERKO, D.; MAGID, J. Xylanase, invertase and protease at the soil-litter interface of a loamy sand. **Soil Biol. Biochem.**, Oxford, v. 31, p. 1171-1179, 1999.

KARLEN, D.; STOTT, D. 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 Sci. Soc. Am, 1994, p. 53-72.

KARLEN, D. L. et al. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (A guest editorial). **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 61, p. 4-10, 1997.

LANNA, A. C. **Impacto ambiental de tecnologias, indicadores de sustentabilidade e metodologias de aferição: uma revisão**. Santo Antonio de Goiás: EMBRAPA, 2002. p. 31

LI, Q.; ALLEN, H. L.; WOLLUM II, A. G. Microbial biomass and bacterial functional diversity in forest soils: Effects of organic matter removal, compaction, and vegetation control. **Soil Biol. Biochem.**, Oxford, v. 36, p. 571-579, 2004.

LIMA, H. V. de et al. Indicadores de qualidade do solo em sistemas de cultivo orgânico e convencional no semi-árido cearense. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 1085-1098, 2007.

MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELO, W. J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 177-1182, 2000.

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

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

MELO, W. J. Enzima no solo. In: MONIZ, A.C. et al. (Eds.). **A responsabilidade social da Ciência do Solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1988, p. 365-378.

MENDES, I. C. et al. Propriedades biológicas em agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio convencional e direto no Cerrado. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 435-443, 2003.

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

NOGUEIRA, M. A.; MELO, W. J. Enxofre disponível para a soja e atividade de arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, 2003.

PINTO, C. R. O.; NAHAS, E. Atividade e população microbiana envolvida nas transformações do enxofre em solos com diferentes vegetações. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 37, n. 12, p. 1751-1756, 2002.

PALA, H. Constituição e mecanismos de degradação biológica de um material orgânico: a madeira. **Construção Magazine**, n. 20, p. 54-62, 2007.

PASSOS, S. R. et al. Atividade enzimática e perfil da comunidade bacteriana em solo submetido à solarização e biofumigação. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 43, n. 7, p. 879-885, 2008.

REZENDE, J. O. **Solos coesos dos Tabuleiros Costeiros**: limitações agrícolas e manejo. Salvador: SEAGRI-SPA, 2000. 117 p. (Série Estudos Agrícolas)

ROSATTO, S. S. et al. Biossensores amperométricos para determinação de compostos fenólicos em amostras de interesse ambiental. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 24, n. 1, p. 77-86, 2001.

RIBEIRO, L. P. Gênese, evolução e degradação dos solos amarelos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS, 1996, Cruz das Almas, BA. **Anais...** Aracaju: EMBRAPA-CPATC, 1996. p. 25-37.

RUEGGER, M. J. S. et al. Atividade da celulase de fungos isolados do solo da Estação Ecológica de Juréia-Itatins, São Paulo, Brasil. **R. bras. Bot.**, São Paulo, v. 27, n. 2, p. 205-211, 2004.

SANTOS, G. A. et al. **Fundamentos da matéria orgânica do solo**: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2 ed. Porto Alegre: Metropole, 2008.

SAVIOZZI, A. et al. Biochemical activities in a degraded soil restored by two amendments: a laboratory study. **Biol. Fert. Soils**, Berlin, v. 35, p. 96-101, 2002.

SCHOENHOLTZ, S.H., MIEGROET, H.; BURGER, J.A. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. **Forest Ecol. Manag.**, Netherlands, v. 138, p. 335-356, 2000.

SILVA, L. G. **Uso e monitoramento de indicadores microbiológicos para avaliação da qualidade dos solos de Cerrado sob diferentes agroecossistemas**. 2008. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília. 2008.

SILVA, M.; SIQUEIRA, E. R.; COSTA, J. L. S. Hidrólise de diacetato de fluoresceína como bioindicador da atividade microbiológica de um solo submetido a reflorestamento. **Ci. Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1493-1496, 2004.

SILVEIRA, D.C. **Diagnóstico da qualidade do solo em um pomar de citros cultivado com plantas de cobertura nas condições ambientais do Recôncavo da Bahia.** 2009. 60f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2009.

SILVEIRA, E. C. P. **Qualidade do solo em dois sistemas de uso e manejo no ambiente dos Tabuleiros Costeiros do Recôncavo Baiano.** 2007. 89f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2007.

SIQUEIRA, J. O. et al. **Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental.** Brasília: EMRAPA-SPI, 1994. 142 p.

SOUZA, L. S. Uso e manejo dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS, 1996, Cruz das Almas, BA. **Anais...** Aracaju: EMBRAPA-CPATC, 1996. p. 36-75.

SOUZA, A. L. V. **Avaliação da qualidade de um Latossolo Amarelo Coeso argissólico dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural.** 2005. 95f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, 2005.

SOUZA, L. S.; SOUZA, L. D.; SOUZA, L. F. 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. **Palestras...** Ribeirão Preto: Agromídia, 2003. 1 CD-Rom.

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Arylsulfatase activity of soils. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, v. 34, p. 225-229, 1970.

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Distribution of total and available sulfur in selected soils and soil profiles. **Agron. J.**, Madison, v. 64, p. 40-44, 1972.

TABATABAI, M. A. Sulfur. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. (Eds.). **Methods of soil analysis.** Madison: American Society of Agronomy, 1982. p. 501-538.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WAYER, R. W. et al. (Eds.). **Methods of soil analyses: microbiological and biochemical properties**. 2. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 775-833.

TAYLOR, J. P. et al. Comparison of microbial numbers and enzymatic activities in surface soils and subsoils using various techniques. **Soil Biol. Biochem.**, Oxford, v. 34, n. 3, p. 387-401, 2002.

TRASAR-CEPEDA, C. et al. Towards a biochemical quality index for soils: An expression relating several biological and biochemical properties. **Biol. Fert. Soils**, Berlin, n. 26, p.100-106, 1998.

WARDLE, D.A. Changes in the microbial biomass and metabolic quotient during leaf litter succession in some New Zealand forest and scrubland ecosystem. **Funct. Ecol.**, v. 7, p. 346-355, 1993.

WARDLE, D. A.; GHANI, A. A critique of the microbial metabolic quotient (qCO_2) as a bioindicator of disturbance and ecosystem development. **Soil Biol. Biochem.**, Oxford, v. 27, p. 1601-1610, 1995.

CAPÍTULO 1

ALTERAÇÕES NA QUALIDADE DE UM LATOSSOLO AMARELO DISTRÓCOESO DETERMINADAS PELA FREQUÊNCIA DO PREPARO PERIÓDICO¹

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

**ALTERAÇÕES NA QUALIDADE DE UM LATOSSOLO AMARELO
DISTROCOESO DETERMINADAS PELA FREQUÊNCIA
DO PREPARO PERIÓDICO⁽¹⁾**

**Rodrigo Fernandes Herrera Estevam⁽²⁾; José Fernandes de Melo Filho⁽³⁾;
Aldo Vilar Trindade⁽⁴⁾; Luciano da Silva Souza⁽⁵⁾**

RESUMO

Os efeitos de sistemas de manejo nos atributos de qualidade do solo resultam em alterações das mais diversas, porém em sua maioria, quanto mais intensivo for o manejo físico maiores são as alterações nos atributos relacionados à estrutura do solo e em suas funções associadas. Sendo assim, este estudo teve o objetivo de avaliar o efeito da frequência do preparo periódico na qualidade de um Latossolo Amarelo Distrocoeso. O experimento foi instalado em uma área sob pastagem natural na Embrapa Mandioca e Fruticultura, aplicando-se cinco níveis de distúrbios do solo induzidos por eventos mensais de aração e gradagem, que seguem: T₀ (Controle), T₁ (2 eventos), T₂ (4 eventos), T₃ (6 eventos) e T₄ (8 eventos). Foram integrados em funções da qualidade do solo a resistência à penetração, a macroporosidade, a densidade do solo, a saturação por alumínio, a relação entre o conteúdo de água no solo na capacidade de campo e a porosidade total, a relação entre a água disponível e a porosidade total, a capacidade de troca catiônica, o pH, a saturação por bases e a matéria orgânica. Os resultados mostraram alterações no índice de qualidade do solo, como redução na capacidade do mesmo para permitir o crescimento radicular, conduzir e armazenar água, e melhoria na capacidade de suprir nutrientes.

Termos de indexação: Tabuleiro Costeiro, índice de qualidade, degradação.

⁽¹⁾ Parte da dissertação do primeiro autor apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB. Rua Rui Barbosa, 710, Centro, CEP 44380-000 Cruz das Almas, BA.

⁽²⁾ Mestrando do Curso de Ciências Agrárias da UFRB. E-mail: rodrigofhe@gmail.com

⁽³⁾ Professor Associado do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da UFRB. E-mail: jfmelo@ufrb.edu.br

⁽⁴⁾ Pesquisador da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. Caixa Postal 007, CEP 44380-000 Cruz das Almas, BA. E-mail: aldo@cnpmf.embrapa.br

⁽⁵⁾ Professor Associado do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da UFRB. E-mail: lsouza@ufrb.edu.br

**SUMMARY: ALTERATIONS IN QUALITY OF A YELLOW OXISOL
DETERMINED BY THE FREQUENCY
OF THE PERIODIC TILLAGE**

The effects of management systems in the attributes of soil quality result in many types of alterations, however, the more intensive the physical management, bigger are the alterations in the attributes related to soil structure and in its related functions. Therefore, this study aimed to evaluate the frequency of periodical soil tillage in the indicators of quality in a Yellow Oxisol with subsurface cohesion. The experiment was set up in an area under natural pasture at the Embrapa Cassava and Fruits Crops. Five degrees of soil disturbance were achieved by monthly events of plowing and harrowing, as follows: T_0 (control), T_1 (2 events), T_2 (4 events), T_3 (6 events) and T_4 (8 events). Soil resistance to penetration, macroporosity, soil bulk density, aluminum saturation, soil water content in field capacity/total porosity ratio, available water/total porosity ratio, capacity of cation exchange, pH, base saturation and organic matter were integrated in soil quality functions. Results showed alterations in the soil quality index, reducing its capacity to allow root growth and water conduction and storage, and improving nutrient supply.

Index terms: Coastal Tableland, quality index, soil degradation.

INTRODUÇÃO

O conceito de sustentabilidade depende da perspectiva de sua aplicação; pode envolver, dentre outros, aspectos sociais, econômicos e ambientais. Por isso, sua mensuração ainda é objeto de muitas discussões e dúvidas, especialmente em relação à integração dos seus diferentes elementos. Para o enfoque agrícola a manutenção ou melhoria da qualidade do solo são fundamentais para a sustentabilidade dos sistemas de uso e manejo (Larson & Pierce, 1994), sendo, por essa razão, necessário o desenvolvimento de ações

investigativas que possam indicar as relações de causa e efeito entre as alterações dos atributos de qualidade e o desempenho das funções do solo para suprir nutrientes, conduzir e armazenar água e permitir o crescimento do sistema radicular das plantas. Por outro lado, o uso agrícola é considerado como uma das principais causas da degradação do solo no mundo, o que implica em forte associação dos conceitos de qualidade do solo com o de sustentabilidade e degradação (Wander et al., 2002).

Como um sistema complexo e dinâmico, a capacidade do solo para funcionar no desempenho de suas funções agrícolas depende das inter-relações entre os seus atributos físicos, químicos e biológicos de qualidade. Assim, de modo geral, havendo alteração de um deles todos os outros são afetados, o que também resulta na alteração da qualidade do solo e na sua capacidade para funcionar (Carneiro et al., 2009), o que torna a avaliação da sustentabilidade dos sistemas agrícolas também uma atividade dinâmica (Larson & Pierce, 1994). Nesta linha de raciocínio, Casalinho et al. (2007) conseguiram estabelecer uma boa relação entre qualidade do solo e sustentabilidade agrícola, verificando em seus estudos que sistemas de manejo com bases ecológicas foram capazes de determinar incrementos positivos nos índices de qualidade do solo, tanto para área recém-desmatada quanto para outras já degradadas.

Os efeitos dos sistemas de manejo nos atributos de qualidade do solo estão amplamente registrados na literatura. Os resultados indicam alterações diversas e, em sua maioria, quanto mais intensivo for o preparo do solo, especialmente com aração e gradagem, maiores são as alterações nos atributos relacionados à estrutura do solo e suas funções associadas (Bertol et al., 2006; Amaral et al., 2008; Aratani et al., 2009; Junior et al., 2009; Tavares Filho & Tessier, 2009 e Araújo et al., 2010).

Nas condições dos Tabuleiros Costeiros, cujos solos apresentam baixo índice de qualidade para o crescimento de plantas e produção vegetal (Souza, 2005), o uso agrícola do solo resultou em efeitos diversificados: Silveira (2007) e Carvalho (2008) observaram alterações positivas na camada superficial em sistemas tradicionais de manejo de fumo, citros e mandioca; Dias (2006) e Machado (2008) verificaram melhorias no funcionamento do solo coeso para cultura de citros quando manejado com subsolagem mais cobertura vegetal;

enquanto Silveira (2009) observou que em curto prazo as plantas de cobertura não minimizaram a coesão do solo.

Estudos de monitoramento da qualidade em solos agrícolas têm sido realizados tomando como referência solos de ambientes divergentes, como floresta ou remanescente de mata. Entretanto, segundo Chaer & Fernandes (2009), o uso de tratamentos constituídos por uma série crescente de operações de aração e gradagem em delineamento experimental gera um gradiente de qualidade do solo, tornando-se um ambiente propício para o estudo de diversos fenômenos inerentes à perda de qualidade dos solos. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de sucessivas arações e gradagens em indicadores de qualidade de um Latossolo Amarelo Distrocoeso.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado durante o período de março de 2007 a outubro de 2008 em área experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura, localizada no Município de Cruz das Almas, Bahia, em latitude 12°48'S, longitude 39°06'W e altitude de 225 m. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical quente e úmido (Aw a Am), com médias anuais de precipitação de 1.200 mm, temperatura de 24°C e umidade relativa do ar em torno de 80%. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico, com textura argilosa e declive de 10 a 15% (Souza & Souza, 2001) e esteve em pousio por cinco anos, sob pastagem natural com predomínio de *Brachiaria decumbens*.

Os tratamentos consistiram em distúrbios sucessivos provocados por operações mensais de aração seguida de gradagem, sendo: T₀ (Controle); T₁ (2 eventos); T₂ (4 eventos) e T₃ (6 eventos), T₄ (8 eventos). O efeito sucessivo e cumulativo das operações de preparo periódico do solo foi planejado de tal forma que, no primeiro evento, apenas o tratamento T₄ foi arado e gradeado; no segundo evento, foram os tratamentos T₄ e T₃; no terceiro os tratamentos T₄, T₃ e T₂; e no quarto e último evento, com exceção do controle, todos os tratamentos (T₄, T₃, T₂ e T₁) foram arados e gradeados (Quadro 1). Em cada evento todos os

tratamentos inclusive o controle tiveram suas parcelas trafegadas pela máquina, mantendo-se desta forma a mesma condição de compressão sobre o solo em todo o experimento.

Quadro 1. Aplicação dos ciclos de distúrbios em eventos de aração e gradagem (A/G)

| Ciclos | Eventos | Trat. 4 | Trat. 3 | Trat. 2 | Trat. 1 | Controle |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| 1 | 1 | A/G | - | - | - | - |
| 1 | 2 | A/G | A/G | - | - | - |
| 1 | 3 | A/G | A/G | A/G | - | - |
| 1 | 4 | A/G | A/G | A/G | A/G | - |
| 2 | 1 | A/G | - | - | - | - |
| 2 | 2 | A/G | A/G | - | - | - |
| 2 | 3 | A/G | A/G | A/G | - | - |
| 2 | 4 | A/G | A/G | A/G | A/G | - |
| Número de distúrbios | | 8 | 6 | 4 | 2 | 0 |

No início de cada ciclo de distúrbio realizou-se uma capina mecânica em toda a área. O primeiro ciclo de distúrbios se deu de julho a novembro de 2007 e o segundo ciclo de abril a agosto de 2008, que somados resultaram em 0, 2, 4, 6 e 8 distúrbios, cuja distribuição espacial foi sorteada em um delineamento experimental de blocos casualizados com cinco repetições, em parcelas com dimensões de 10 m x 20 m, espaçadas em 3 m e os blocos em 5 m.

A amostragem do solo foi realizada depois de 30 dias da aplicação do último evento de distúrbio. Neste procedimento, retirou-se uma amostra composta por seis subamostras sistematizada na profundidade de 0 a 0,20 m. Na mesma oportunidade, coletaram-se também duas amostras indeformadas por parcela.

Dos atributos químicos foram determinados o pH em água, soma de bases (S), saturação por alumínio (m%), saturação por bases (V%), capacidade total de troca catiônica (CTC) e matéria orgânica (MO) (Embrapa, 1997). Dos atributos físicos foram determinados a densidade do solo (Ds), porosidade total (PT),

macroporosidade (Mac), condutividade hidráulica em solo saturado (K_0) e curva característica de retenção de água no solo (Embrapa, 1997), cujos dados formam objeto de ajuste ao modelo de van Genuchten (1980). Considerou-se como água disponível (AD) a diferença de umidade do solo entre as tensões de 33 e 1500 kPa.

Para estimar a resistência do solo à penetração de raízes (RP), coletaram-se em março de 2010 duas amostras indeformadas por parcela no ponto médio da camada de 0-0,20 m, utilizando-se um extrator de solo tipo Uhland e cilindros de alumínio de 0,05 m de altura e diâmetro. Após o beneficiamento, as amostras foram saturadas por 48 horas e em seguida levadas para extração da água em câmaras de Richards, a uma pressão de 0,1 MPa. Após equilíbrio, determinou-se a RP por meio do penetrômetro eletrônico modelo MA-933, ajustado para a velocidade de avanço de $0,01 \text{ m min}^{-1}$, calculando-se a média dos registros de leituras entre 0,01 m e 0,04 m.

O índice de qualidade do solo foi calculado pelo método de Karlen & Stott (1994), utilizando-se as seguintes funções principais: a) crescimento radicular em profundidade, b) conduzir e armazenar água e c) suprir nutrientes, bem como os demais parâmetros propostos por Sousa et al. (2003) descritos em Melo Filho et al. (2007) e dispostos no quadro 2.

Foram realizadas as análises de variância, regressão linear e teste de Tukey a 5 % de significância e análise de correlação de Pearson.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

De modo geral, o aumento da frequência das operações de aração e gradagem afetou negativamente os atributos de qualidade do solo, gerando índices globais cada vez menores (Quadro 3), possibilitando verificar os atributos que mais influenciaram as funções de qualidade do solo (Quadro 4).

Quadro 2. Funções principais e atributos físicos e químicos utilizados na avaliação da qualidade de solos de Tabuleiros Costeiros

| 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 | | Taylor et al. (1966) |
| | | Mac, m ³ m ⁻³ | 0,3 | 0,1 | | 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) |
| | | Mac, 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 | 9 | C. E. F. Solo (1989) |
| | | CTC, cmol _c dm ⁻³ | 0,4 | 4 | | 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; Mac: macroporosidade, Ds: densidade do solo; k₀: condutividade hidráulica em solo saturado; Uv₃₃/PT: relação entre umidade volumétrica do solo a -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 de bases; MO: matéria orgânica.

Função crescimento radicular em profundidade (CRP)

A capacidade do solo possibilitar o crescimento do sistema radicular das plantas depende diretamente da resistência do solo à penetração (RP), da densidade do solo (Ds), da macroporosidade (Mac) e da saturação por alumínio (m%), cujas alterações determinadas pelo manejo físico podem resultar no aumento das limitações já naturalmente encontradas em um solo.

Os valores de RP ficaram muito acima do limite crítico para o bom desenvolvimento radicular das plantas (2,00 MPa), apresentando resistência muito alta mesmo para o controle e alta resistência para os demais tratamentos (Quadro 3), o que indica efeito da mobilização do solo por arado e grade na diminuição da resistência do solo à penetração de raízes, conforme também verificaram De Maria et al. (1999) e Tormena et al. (2002). Como a resistência decresceu do número de distúrbio zero (ND₀) até o ND₄ e se elevou deste para o ND₈, permitindo um ajuste quadrático dos dados ($y^* = 5,19 - 0,88x + 0,08x^2$; $R^2 = 0,98$), pode-se inferir que esse método de preparo do solo não minimiza a resistência à penetração em estádios avançados de degradação do solo.

Segundo Cunha et al. (2002), o índice de cone aumenta com a densidade do solo em razão da diminuição do espaço poroso e concomitante redução da umidade do solo. No entanto, no quadro 4, não se observaram correlações entre a RP e os atributos Mac, Ds e Uv_{33}/PT (relação entre a umidade volumétrica a -33 kPa por porosidade total), o que pode estar relacionado com a acomodação e cimentação das partículas minerais do solo na camada manejada em toda a área experimental, que foi submetida a um pousio por 18 meses, tempo decorrido entre a amostragem dos demais atributos e a da RP, que faltava para completar a função CRP.

Os valores de Mac e Ds foram semelhantes aos encontrados por Dias (2006) e Carvalho (2008) em sistemas convencionais de cultivo, ficando a Mac variando em torno do seu limite crítico para uma boa aeração e drenagem no solo ($0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e apresentando redução significativa no ND₆, enquanto a Ds ficou bem acima do limite crítico de adensamento ($1,52 \text{ kg dm}^{-3}$), com valores maiores para as parcelas com distúrbios, apresentando correlação negativa muito forte com os valores de Mac.

A m% apresentou valores abaixo do nível crítico para toxidez (50%), não se alterando com os distúrbios. Portanto, com os demais atributos componentes fora da faixa ideal para o desenvolvimento radicular, a função CRP apresentou valores baixos e decrescentes com o número de distúrbios, observando-se correlação forte positiva com Mac e forte negativa com Ds, que revelam maior influência destes dois atributos no comportamento dessa função perante as operações de aração e gradagem.

Quadro 3. Alterações no índice, funções principais e indicadores da qualidade para um Latossolo Amarelo Distrocoeso

| Variáveis ⁽¹⁾ | Número de distúrbios | | | | | Média | CV (%) |
|---|----------------------|---------|---------|---------|---------|-------|--------|
| | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | | |
| IQS | 0,51 a | 0,50 a | 0,47 a | 0,40 a | 0,45 a | 0,47 | 16,18 |
| CRP | 0,43 a | 0,42 a | 0,39 a | 0,22 a | 0,35 a | 0,36 | 44,55 |
| RP, MPa | 5,28 a | 3,57 ab | 2,97 b | 3,02 b | 3,29 b | 3,63 | 24,15 |
| Mac, m ³ m ⁻³ | 0,13 a | 0,09 ab | 0,12 ab | 0,06 b | 0,10 ab | 0,10 | 32,71 |
| Ds, kg dm ⁻³ | 1,61 a | 1,64 a | 1,59 a | 1,71 a | 1,64 a | 1,61 | 4,06 |
| m%, % | 37,94 a | 27,73 a | 39,95 a | 39,46 a | 32,11 a | 35,44 | 26,81 |
| CAA | 0,70 a | 0,66 ab | 0,68 ab | 0,59 b | 0,62 b | 0,57 | 10,71 |
| K ₀ , cm h ⁻¹ | 22,33 a | 28,21 a | 31,85 a | 18,5 a | 22,7 a | 24,72 | 55,9 |
| Uv ₃₃ /PT | 0,51 a | 0,57 ab | 0,53 ab | 0,64 b | 0,59 ab | 0,57 | 11,11 |
| AD/PT | 0,16 a | 0,18 a | 0,16 a | 0,18 a | 0,16 a | 0,17 | 13,16 |
| SN | 0,42 a | 0,47 a | 0,46 a | 0,45 a | 0,53 a | 0,47 | 16,71 |
| pH | 4,78 a | 4,72 a | 4,50 a | 4,44 a | 4,62 a | 4,61 | 3,84 |
| CTC, cmol _c dm ⁻³ | 4,54 b | 4,82 ab | 5,01 ab | 5,01 ab | 5,20 b | 4,92 | 6,75 |
| V%, % | 22,81 a | 29,31 a | 23,77 a | 22,63 a | 28,26 a | 25,36 | 21,39 |
| MO, g kg ⁻¹ | 13,69 a | 14,27 a | 14,11 a | 13,87 a | 15,18 a | 14,22 | 8,02 |

⁽¹⁾ IQS: índice de qualidade do solo (IQS = 0,4 CRP + 0,4 CAA + 0,2 SN); CRP: crescimento radicular em profundidade; RP: resistência à penetração; Mac: macroporosidade, Ds: densidade do solo; CCA: condução e armazenamento de água; k₀: condutividade hidráulica em solo saturado; Uv₃₃/PT: relação entre umidade volumétrica do solo a -33 kPa por porosidade total; AD/PT: relação água disponível por porosidade total; SN: suprir nutrientes; m%: saturação por alumínio; CTC: capacidade de troca de cátions; V%: saturação de bases; MO: matéria orgânica. Obs.: Números seguidos de letras iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

Quadro 4. Matriz de correlação para índice, funções principais e indicadores de qualidade

| Variáveis ⁽¹⁾ | IQS | CRP | RP | Mac | Ds | m% | CAA | K ₀ | Uv ₃₃ /PT | AD/PT | SN | pH | CTC | V% |
|--------------------------|----------|----------|-------|----------|----------|----------|---------|----------------|----------------------|-------|---------|---------|---------|--------|
| CRP | 0,95*** | | | | | | | | | | | | | |
| RP | -0,16 | -0,10 | | | | | | | | | | | | |
| Mac | 0,66*** | 0,79*** | 0,16 | | | | | | | | | | | |
| Ds | -0,65*** | -0,79*** | -0,02 | -0,94*** | | | | | | | | | | |
| m% | -0,32 | -0,20 | 0,15 | 0,13 | -0,12 | | | | | | | | | |
| CAA | -0,11 | -0,30 | -0,06 | -0,52** | 0,58** | 0,01 | | | | | | | | |
| K ₀ | 0,36 | 0,45* | -0,13 | 0,46* | -0,64*** | 0,34 | -0,25 | | | | | | | |
| Uv ₃₃ /PT | -0,58** | -0,73*** | -0,21 | -0,94*** | 0,92*** | -0,05 | 0,62*** | -0,47* | | | | | | |
| AD/PT | -0,34 | -0,51** | -0,01 | -0,74*** | 0,73*** | -0,25 | 0,82*** | -0,30 | 0,67*** | | | | | |
| SN | 0,36 | 0,17 | -0,22 | 0,03 | -0,06 | -0,52** | -0,20 | -0,09 | -0,02 | -0,12 | | | | |
| pH | 0,35 | 0,31 | 0,08 | 0,08 | -0,07 | -0,82*** | -0,19 | -0,21 | -0,23 | 0,08 | 0,35 | | | |
| CTC | 0,14 | -0,03 | -0,30 | -0,07 | 0,01 | -0,10 | -0,15 | 0,07 | 0,11 | -0,14 | 0,85*** | -0,12 | | |
| V% | 0,33 | 0,20 | -0,23 | -0,10 | 0,08 | -0,97*** | -0,07 | -0,33 | 0,03 | 0,18 | 0,61*** | 0,78*** | 0,20 | |
| MO | 0,48** | 0,29 | -0,11 | 0,18 | -0,17 | -0,42* | -0,11 | 0,01 | -0,12 | -0,15 | 0,93*** | 0,24 | 0,78*** | 0,49** |

⁽¹⁾ IQS: índice de qualidade do solo; CRP: crescimento radicular em profundidade; RP: resistência à penetração; Mac: macroporosidade, Ds: densidade do solo; CCA: condução e armazenamento de água; k₀: condutividade hidráulica em solo saturado; Uv₃₃/PT: relação entre umidade volumétrica do solo a -33 kPa por porosidade total; AD/PT: relação água disponível por porosidade total; SN: suprir nutrientes; m%: saturação por alumínio; CTC: capacidade total de troca de cátions; V%: saturação de bases; MO: matéria orgânica.

*, ** e ***: significância da correlação a 5%, 1% e 0,1% respectivamente.

Função condução e armazenamento de água (CAA)

A capacidade do solo funcionar possibilitando a condução e o armazenamento de água em seu interior está associada aos atributos condutividade hidráulica em solo saturado (K_0), macroporosidade (Mac), relação entre a umidade volumétrica a -33 kPa por porosidade total (Uv_{33}/PT) e relação água disponível por porosidade total (AD/PT).

Para o indicador K_0 , verificaram-se valores variando sem efeito de tratamento e acima da faixa ideal para redistribuição de água no perfil (Quadro 3), caracterizando uma rápida drenagem do solo, que pode causar perda de fertilidade por lixiviação de nutrientes. Apesar da moderada correlação positiva com Mac (Quadro 4), os valores de K_0 não foram condizentes com os baixos volumes de macroporos, sendo esperado valores maiores, como constatado por Conceição (2008). Assim, possivelmente, a alta permeabilidade das amostras pode estar ligada a fissuras relacionadas à atividade caulínica de desordem estrutural ou presença de bioporos (Giarola et al., 2001), de forma que poros contínuos no perfil do solo permitem um maior fluxo de água e solutos do que poros maiores e descontínuos (Ribeiro, 2005).

A relação Uv_{33}/PT teve correlação moderada negativa com K_0 , muito forte negativa com Mac e muito forte positiva com Ds. Sabe-se que em detrimento da Mac, a compactação do solo aumenta a proporção de microporos, que são responsáveis em grande parte pela retenção de água no solo, o que explica o aumento linear para a relação Uv_{33}/PT ($y^* = 0,52 + 0,01x$; $R^2 = 0,52$). Para a relação AD/PT , observaram-se valores acima do limite crítico de 0,125, que aumentaram e retornaram em relação ao controle, sem efeito de número de distúrbios, apresentando correlação forte positiva com os valores da relação Uv_{33}/PT e com os de Ds e correlação forte negativa com os valores de Mac.

Na integração destes atributos para compor a função CAA, os dois atributos que ficaram fora da faixa ideal (K_0 e Mac) são os que têm menor ponderação e, desta forma, os escores desta função ficaram acima do limite crítico, como encontrado por Conceição (2008) e Carvalho (2008) e se reduziram em função do distúrbio ($y^{**} = 0,70 - 0,01x$; $R^2 = 0,70$), apresentando forte correlação positiva com a relação Uv_{33}/PT e muito forte positiva com a AD/PT .

Função suprir nutrientes (SN)

A capacidade do solo funcionar para o suprimento de nutrientes para as plantas está associada aos atributos pH, capacidade de troca de catiônica (CTC), saturação por bases (V%) e matéria orgânica (MO).

Para os atributos integrantes da função SN, observaram-se valores abaixo do limite crítico, que ora reduziram com o número de distúrbios, como para o pH, e ora aumentaram, como para a CTC e a V%. Entretanto, o ajuste de regressão só foi possível para o pH ($y^* = 4,82 - 0,12x + 0,01x^2$; $R^2 = 0,80$) e para a CTC ($y^{**} = 4,62 + 0,08x$; $R^2 = 0,91$). As variações nesses atributos foram coerentes com a redução da MO que se verificou até o ND₆, e aumento no ND₈, pois neste último aplicou-se por primeiro o tratamento de aração e gradagem (Quadro 1), ocorrendo então incorporação da massa vegetal ainda fresca, ocasionando reflexos na CTC e na V% conforme as correlações positivas observadas entre os três atributos (Quadro 4).

Pelo exposto, a função SN expressou em baixos escores as péssimas condições dos atributos integrantes, apresentado melhora com o manejo, comportamento que confere com os dos atributos integrantes de maior ponderação, como constatado pelas correlações positivas, moderada de V%, forte de CTC e muito forte de MO, que se observaram com a função SN.

Índice de qualidade do solo (IQS)

O IQS foi coerente com o solo estudado e com a proposta do trabalho, apresentando escores similares aos encontrados por Souza et al. (2003), Melo Filho et al. (2007) e Melo Filho et al. (2009), ficando pouco acima do limite crítico para o controle e reduzindo com a frequência das operações de aração e gradagem, passando a ser ruim a partir de 4 operações. Esse comportamento do IQS perante as operações revela maior influência da função CRP, como constatado pela forte correlação positiva entre seus escores.

CONCLUSÃO

A frequência do manejo físico e preparo periódico do solo determinaram alteração no índice de qualidade do solo e agravamento das limitações na função crescimento radicular em profundidade, com alterações nos atributos resistência do solo à penetração e macroporosidade, redução na função condução e armazenamento de água e melhoria na função suprimento de nutrientes com aumento na capacidade de troca catiônica.

LITERATURA CITADA

- AMARAL, A.J.; BERTOL, I.; COGO, N.P. & BARBOSA, F.T. Redução da erosão hídrica em três sistemas de manejo do solo em um Cambissolo Húmico da região do planalto sul-catarinense. R. Bras. Ci. Solo, 32:2145-2155, 2008.
- ARATANI, R.G.; FREDDI, O.; CENTURION J.F. & ANDRIOLI, I. Qualidade física de um Latossolo Vermelho acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. R. Bras. Ci. Solo, 33:677-687, 2009.
- ARAÚJO, F.S.; SALVIANO, A.A.C.; LEITE, L.F.C.; SOUZA, Z.M. & SOUSA, A.C.M.. Physical quality of a Yellow Latossol under integrated crop-livestock system R. Bras. Ci. Solo, 34:717-723, 2010.
- BERTOL, I.; MELLO, E.L.; COGO, N.P.; VÁZQUEZ, E.V. & GONZÁLEZ; A.P. Parâmetros relacionados com a erosão hídrica sob taxa constante da enxurrada, em diferentes métodos de preparo do solo. R. Bras. Ci. Solo, 30:715-722, 2006.
- BEUTLER, A.N.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; CRUZ, J.C. & PEREIRA FILHO, I.A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. R. Bras. Ci. Solo, 25:167-177, 2001.

- CARNEIRO, M.A.C.; SOUZA, E.D.; REIS, E.F.; PEREIRA, H.S. & AZEVEDO, W.R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:147-157, 2009.
- CARTER, M.R. Quality, critical limits and standardization. In: LAL, R., ed. *Encyclopedia of soil science*. New York, Marcel Dekker, 2002. p.1062-1065.
- CARVALHO, L.L. Diagnostico da qualidade do solo em dois sistemas tradicionais de uso e manejo: citros e mandioca. 2008. 67f. Dissertação (Mestrado Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2008.
- CASALINHO, H.D.; MARTINS, S.R.; SILVA, J.B. & LOPES, A.S. Qualidade do solo como indicador de sustentabilidade de agroecossistemas. *R. Bras. Agrociência*, 13:195-203, 2007.
- CHAER, G.M.& FERNANDES, M.F. Sensibilidade de propriedades físicas, químicas e biológicas a um gradiente induzido de degradação do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009, Fortaleza. Resumos... Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2009.
- COMISSÃO ESTADUAL DE FERTILIDADE DO SOLO – CEFSBA. Manual de adubação e calagem para o Estado da Bahia. 2.ed. Salvador, CEPLAC/EMATERBA/EMBRAPA/EPABA /NITROFÉRTIL, 1989. 173p.
- CONCEIÇÃO, B.P.S. Métodos para avaliação da qualidade do solo em ambiente tropical. 2008, 54f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2008.
- CUNHA, J.P.A.R.; VIEIRA, L.B. & MAGALHÃES, A.C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. *Engenharia na Agricultura*, 10:1-4, 2002.
- DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M. & DIAS, H.S. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:3, p.703-709, 1999.

- DIAS, R.C.S. Qualidade do solo e desenvolvimento radicular de citros em Latossolo Amarelo Coeso sob diferentes sistemas de manejo. 2006. 67f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2006.
- DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B. A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.3-21.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, EBRAPA, 1997. 212p.
- GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.; SOUZA, L.S. & RIBEIRO, L.P. Similaridades entre o caráter coeso dos solos e o comportamento Hardsetting: estudo de caso. R. Bras. Ci. Solo, 25:239-247, 2001.
- 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.53-57.
- GENRO JUNIOR, S.A.G.; REINERT, J.D.; REICHERT, J.M. & ALBUQUERQUE, J.A. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho e produtividade de culturas cultivadas em sucesso e rotação. Ci. Rural, 39:65-73, 2009.
- LARSON, W.E. & PIERCE, F.J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J. eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, WI: Soil Science Society of America, 1994, p.37–52.
- LEPSCH, I.F. Manual de levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. 175p.

- MACHADO, F.C Indicadores de qualidade para um Latossolo Amarelo Coeso submetido a dois sistemas de manejos do solo nas condições do recôncavo baiano. 2008, 69f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2008.
- MELO FILHO, J.F.; SOUZA, A.L.V. & SOUZA, L.S. Determinação do índice de qualidade subsuperficial em um Latossolo Amarelo Coeso dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural. R. Bras. Ci. Solo, 31:1599-1608, 2007.
- MELO FILHO, J.F.; CARVALHO, L.L.; SILVEIRA, D.C.; SACRAMENTO, J.A.S. & SILVEIRA, E.C.P. Índice de qualidade em um Latossolo Amarelo Coeso cultivado com citros. Rev. Bras. Frutic., 31:1168-1177, 2009.
- NIERO, L.A.C.; DECHEN, S.C.F.; COELHO, R.M. & MARIA, I.C. de. Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação por análises físicas e químicas em um Latossolo Vermelho distroférico com usos e manejos distintos. R. Bras. Ci. Solo, 34:1271-1282, 2010.
- REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas. São Paulo: Manole, 1990. p.188.
- RIBEIRO, K.D. Influência da distribuição de vazios na condutividade hidráulica do solo saturado. 2005. 56f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.
- SILVEIRA, D.C. Diagnóstico da qualidade do solo em um pomar de citros cultivado com plantas de cobertura nas condições ambientais do Recôncavo da Bahia. 2009. 60f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2009.
- SILVEIRA, E.C.P. Qualidade do solo em dois sistemas de uso e manejo no ambiente dos tabuleiros costeiros do Recôncavo Baiano. 2007. 89f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2007.
- SOIL SURVEY STAFF. Soil survey manual. Washington, U.S. Government Printing Office, 1993. (Department of Agriculture Handbook, 18)

- SOUZA, L.S. & SOUZA, L.D. Caracterização físico-hídrica de solos da área do Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura Tropical. Cruz das Almas, Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2001. 56p.
- SOUZA, A.L.V. Avaliação da qualidade de um Latossolo Amarelo Coeso argissólico dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural. 2005, 95f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, BA, 2005.
- SOUZA, L. S.; SOUZA, L.D. & SOUZA, L.F.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 CIENCIA DO SOLO. 29., 2003, Ribeirão Preto. Anais. Ribeirão Preto: Agromídia, 2003. CD-ROM
- TAYLOR, H.M.; ROBERSON, G.M. & PARKER JR., J.J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. Soil Sci., 102:18-22, 1966.
- TAVARES FILHO, J. & TESSIER, D. Characterization of soil structure and porosity under long-term conventional tillage and no-tillage systems. R. Bras. Ci. Solo, 33:1837-1844, 2009.
- van GENUCHTEN, M.T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 44:892-898, 1980.
- TORMENA, C.A.; BARBOSA, M.C.; COSTA, A.C.S. & GONÇALVES, A.C.A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. Scientia Agricola, 59:795-801, 2002.
- WANDER, M.M.; WALTER, G.L.; NISSEN, T.M.; BOLLERO, G.A.; ANDREWS, S. S. & CAVANAUGH-GRANT, D. A. Soil quality: science and process. Agron. J. 94:23-32, 2002.

CAPÍTULO 2

USO DE ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS, BIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS PARA INDICAR E PREDIZER PROCESSOS DE DEGRADAÇÃO DO SOLO¹

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

USO DE ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS, BIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS PARA INDICAR E PREDIZER PROCESSOS DE DEGRADAÇÃO DO SOLO⁽¹⁾

Rodrigo Fernandes Herrera Estevam⁽²⁾; Aldo Vilar Trindade⁽³⁾ & José Fernandes de Melo Filho⁽⁴⁾

RESUMO

A falta de critérios ou ferramentas adequadas para monitorar a qualidade do solo faz com que a degradação somente seja detectada em estádios avançados, dificultando a adoção de medidas preventivas e corretivas. Assim, este estudo teve o objetivo de avaliar o uso de atributos físicos, químicos, biológicos e bioquímicos para indicar e prever processos de degradação do solo. Para tanto, em uma área de Latossolo Amarelo Distrocoeso na Embrapa Mandioca e Fruticultura, promoveram-se cinco níveis de distúrbios do solo induzidos por eventos mensais de aração e gradagem, que seguem: T₀ (Controle), T₁ (2 eventos), T₂ (4 eventos), T₃ (6 ventos) e T₄ (8 ventos). Foram avaliados a velocidade de infiltração básica de água no solo, a porosidade e a densidade do solo, a condutividade hidráulica em solo saturado, o tamanho e a estabilidade de agregados, o pH, o fósforo disponível, a acidez potencial, a soma de bases, a saturação por alumínio, a capacidade de troca catiônica, a saturação por bases, a matéria orgânica, a biomassa microbiana, a respiração basal do solo e algumas atividades de enzimas. Dentre esses, não somente os atributos biológicos e bioquímicos como também os físicos e químicos mostraram-se adequados para indicar o nível de degradação do solo, mas somente a atividade de xilanase foi adequada para prever o início do processo de degradação.

Termos de indexação: Tabuleiro Costeiro, bioindicadores, atividade enzimática.

⁽¹⁾ Parte da dissertação do primeiro autor apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB. Rua Rui Barbosa, 710, Centro, CEP 44380-000 Cruz das Almas, BA.

⁽²⁾ Mestrando do Curso de Ciências Agrárias da UFRB. E-mail: rodrigofhe@gmail.com.

⁽³⁾ Pesquisador da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. Caixa Postal 007, CEP 44380-000 Cruz das Almas, BA. E-mail: aldo@cnpmf.embrapa.br

⁽⁴⁾ Professor Associado do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da UFRB. E-mail: jfmelo@ufrb.edu.br

**SUMMARY: USE OF PHYSICAL, CHEMICAL, BIOLOGICAL AND
BIOCHEMICAL ATTRIBUTES TO INDICATE AND PREDICT
SOIL DEGRADATION PROCESSES**

As a result of the inexistence of reliable criteria and tools to monitor soil quality, it is difficult the adoption of preventive and corrective measures and the degradation is only detected in advanced stage. Therefore, this study evaluated the use of physical, chemical, biological and biochemical attributes to indicate and predict soil degradation processes. The experiment was established on a Yellow Oxisol with subsurface cohesion at Embrapa Cassava and Fruits Crops with five levels of soil induced disturbance, by monthly events of plowing and harrowing, as follows: T_0 (control), T_1 (2 events), T_2 (4 events), T_3 (6 events) and T_4 (8 events). Basic rate of water intake in the field, soil bulk density, soil porosity, soil saturated hydraulic conductivity, aggregate size and stability, available water capacity, pH, available phosphorus, potential acidity, sum of bases, aluminum saturation, cation exchange capacity (CEC), base saturation, soil organic matter, microbial biomass, soil respiration and some enzymes activities were used as indicators. Some physical, chemical, biological and biochemical attributes were adequate to indicate the level of soil degradation, but only the xylanase activity was adequate to predict the onset of the degradation process.

Index terms: Coastal Tableland, bioindicators, enzymatic activity.

INTRODUÇÃO

Não obstante o surgimento de diversas alternativas e propostas conceituais baseadas em critérios de sustentabilidade, a agricultura moderna ainda tem sua base tecnológica fundamentada no manejo intensivo do solo, no monocultivo e na utilização de agroquímicos para fertilização do solo e controle das pragas e doenças que atacam os vegetais. Como consequência disso, cerca de 20% das terras do planeta destinadas à agricultura encontram-se degradadas (FAO, 2008).

Embora seja uma preocupação universal bastante antiga, ainda existem controvérsias sobre as formas de avaliação da perda de qualidade do solo determinada pelo uso agrícola. Por isso, existem diversas proposições de uso de índices e atributos que sejam capazes de detectar a diminuição da eficiência do funcionamento do solo provocada pelo manejo. Assim, são utilizados desde indicadores empíricos até científicos, baseados em indicadores de fertilidade do solo, conteúdo de matéria orgânica e outros referenciados como bioindicadores (Zilli et al., 2003; Conceição et al., 2005).

Um bioindicador pode ser entendido como uma referência às propriedades e processos biológicos que ocorrem no solo associadas à presença de vida animal e vegetal sobre determinadas condições ecoedáficas. Os macro e microrganismos do solo têm sido utilizados como bioindicadores, os quais refletem, com diferentes graus de sensibilidade, a qualidade do sistema solo em decorrência da ação humana, resultante tanto da agricultura quanto de suas outras atividades (Doran & Parkin, 1994; Zilli et al., 2003). Para Araújo & Monteiro (2007), os microrganismos apresentam características determinadas pela diversidade e elevada atividade metabólica que os diferenciam dos outros organismos vivos do solo, conferindo-lhes elevado potencial para uso em avaliações de qualidade do solo.

Desde meados do século passado já se observavam variações significativas na atividade de invertase em função do tipo de solo, topografia e cobertura vegetal, sendo seus valores correlacionados com a produtividade (Melo, 1988). Na década passada, Pinto & Nahas (2002) e Nogueira & Melo (2003) encontraram diferenças significativas da atividade de arilsulfatase no solo em diferentes sistemas de uso. Estudando a atividade microbiológica total (AMT) em áreas degradadas, recuperadas e nativas nos cerrados brasileiros, Godoi (2001) verificou sua eficácia como indicadora da qualidade de solos. Em adição, Silva et al. (2004) sugeriram o emprego da AMT em estudos de monitoramento ambiental. Avaliando o uso do carbono da biomassa microbiana (CBM), atividade de β -glicosidase, fosfatase ácida e arilsulfatase como indicadores de qualidade do solo em diversos agroecossistemas da região dos cerrados, Silva (2008) verificou maiores diferenças para esses atributos biológicos, e menores diferenças para os atributos químicos e físicos.

Pelo exposto, torna-se cada vez mais frequente a procura por ferramentas apropriadas para monitorar a qualidade do solo, de forma que a seleção de atributos e indicadores mais sensíveis capazes de detectar a degradação do solo com precisão e acurácia, especialmente em seus estádios iniciais, é primordial para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de atributos físicos, químicos, biológicos e bioquímico para indicar e predizer processos de degradação do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado durante o período de março de 2007 a outubro de 2008 em uma área da Embrapa Mandioca e Fruticultura, localizada no Município de Cruz das Almas, Bahia, em latitude 12°48'S, longitude 39°06'W e altitude de 225 m. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical quente e úmido (Aw a Am), com médias anuais de precipitação de 1.200 mm, temperatura de 24°C e umidade relativa do ar em torno de 80%. O solo da área experimental foi classificado como um Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico, com textura argilosa e declive de 10 a 15 % (Souza & Souza 2001).

Descrição do experimento

Para avaliar a degradação da qualidade química, física e biológica, promoveu-se um gradiente de degradação do solo, aplicando-se diferentes níveis de distúrbios por meio de eventos mensais de aração e gradagem. O uso dessa estratégia baseia-se no pressuposto de que o distúrbio físico causado pelos implementos de aração e gradagem na estrutura do solo resulta em perda líquida de matéria orgânica e consequente exposição da mesma à oxidação microbiana.

O efeito sucessivo e cumulativo das operações de preparo periódico do solo foi planejado de tal forma que, no primeiro evento, apenas o tratamento T₄ foi arado e gradeado; no segundo evento, foram os tratamentos T₄ e T₃; no terceiro, os tratamentos T₄, T₃ e T₂; e no quarto e último evento, com exceção do controle (T₀), todos os tratamentos (T₄, T₃, T₂ e T₁) foram arados e gradeados (Quadro 1). Em cada evento todos os tratamentos, inclusive o controle, tiveram suas parcelas trafegadas pela máquina.

Quadro 1. Aplicação dos ciclos de distúrbios em eventos de aração e gradagem (A/G)

| Ciclos | Eventos | Trat. 4 | Trat. 3 | Trat. 2 | Trat. 1 | Controle |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| 1 | 1 | A/G | - | - | - | - |
| 1 | 2 | A/G | A/G | - | - | - |
| 1 | 3 | A/G | A/G | A/G | - | - |
| 1 | 4 | A/G | A/G | A/G | A/G | - |
| 2 | 1 | A/G | - | - | - | - |
| 2 | 2 | A/G | A/G | - | - | - |
| 2 | 3 | A/G | A/G | A/G | - | - |
| 2 | 4 | A/G | A/G | A/G | A/G | - |
| Número de distúrbios | | 8 | 6 | 4 | 2 | 0 |

Antes da instalação do experimento, a área esteve em pousio por cinco anos, sob pastagem natural com predomínio de *Brachiaria decumbens*. No início de cada ciclo de distúrbios procedeu-se roçagem mecânica em toda a área. O primeiro ciclo de distúrbios se deu de julho a novembro de 2007 e o segundo ciclo de abril a agosto de 2008, que somados resultaram em 2, 4, 6 e 8 distúrbios. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro tratamentos e cinco repetições. As parcelas, com dimensões de 10 m x 20 m, foram espaçadas em 3 m e os blocos em 5 m.

A amostragem de solo se deu um mês após o último evento de distúrbio, sendo retirada uma amostra composta de seis subamostras por parcela na profundidade de 0-0,20 m. Na mesma época e oportunidade coletaram-se também duas amostras indeformadas por parcela para análise da densidade e porosidade do solo; torrões para avaliação do tamanho e estabilidade de agregados em água; e mensurou-se a velocidade de infiltração básica da água no solo (VIB) pelo método do duplo anel concêntrico (Reichardt, 1990). Para as análises biológicas, parte da amostra foi passada em peneira de 4 mm e armazenada a 4 °C até o procedimento de laboratório.

Análise de solo

Dos atributos químicos foram determinados o pH em água, fósforo disponível (Mehlich-1), acidez potencial ($H^+ + Al^{+++}$), saturação por alumínio (m%), soma de bases (S), saturação por bases (V%), capacidade total de troca catiônica (CTC) e matéria orgânica (MO) (Embrapa, 1997).

Dos atributos físicos foram determinados, além da VIB, a densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), macroporosidade (Mac), condutividade hidráulica em solo saturado (K_0), diâmetro médio ponderado de agregados (DMPA), percentagem de agregados (PA), e estabilidade de agregados em água (EAA) e curva característica de retenção de água no solo (Embrapa, 1997), cujos dados formam objeto de ajuste ao modelo de van Genuchten (1980). Considerou-se como água disponível (AD) a diferença de umidade do solo entre as tensões de 33 e 1500 kPa.

Para análise do carbono da biomassa microbiana (CBM) e nitrogênio da biomassa microbiana (NBM), utilizou-se o método de fumigação e extração em solução aquosa de sulfato de potássio 0,5 M (Vance et al., 1987). O teor de N nos extratos foi determinado pelo método da reação da ninidrina (Joergensen & Brookes, 1990) e o teor de C foi determinado por meio da reação com o dicromato de potássio, catalisada por digestão ácida (Anderson & Ingram, 1993). Para o cálculo do CBM, utilizou-se um valor de K_c igual a 0,38 (Vance et al., 1987). A partir da relação entre os valores do CBM e do C orgânico total (COT), determinou-se o quociente microbiano (q_{Mic}). A transformação dos valores da matéria orgânica para COT se fez pela relação $MO = 1,724 \times COT$ (Embrapa, 1997).

A respiração basal do solo (RBS) foi determinada em laboratório pela quantificação do CO_2 liberado durante 72 horas de incubação do solo em sistema fechado, onde o CO_2 é capturado pela solução de NaOH 0,05 M, para posteriormente ser titulada com HCl (Isermeyer, 1952). O quociente metabólico (q_{CO_2}) foi obtido pela relação RBS/CBM.

A atividade potencial da fosfatase foi determinada pelo método de incubação do solo em tampão universal modificado (MUB, pH 6,5), contendo o substrato *p*-nitrofenil fosfato (Eivazi & Tabatabai, 1977). Para a atividade de

arilsulfatase, a reação se deu em tampão acetato 0,5 M (pH 5,8) contendo *p*-nitrofenil sulfato (Tabatabai & Bremner, 1970), enquanto para a β -glicosidase, em tampão MUB (pH 6,0) contendo *p*-nitrofenil β -galactosídeo como substrato (Eivazi & Tabatabai, 1988).

As atividades de carboximetilcelulase (CMCase), invertase e xilanase foram determinadas por incubação de amostras de solo em tampão acetato de sódio 2,0 M (pH 5,5), contendo como substratos carboximetilcelulose, sacarose ou xilana para cada respectiva atividade enzimática (Schinner & von Mersi, 1990).

Para análise de atividade de lacase, as amostras de solo foram incubadas em tampão acetato de sódio 0,05 M (pH 5,0), contendo o substrato L-3,4 dihidroxifenil-alanina (Sinsabaugh et al., 1999).

A atividade microbiológica total (AMT) foi determinada pelo método de hidrólise de diacetato de fluoresceína em tampão fosfato de sódio 60 mM a pH 7,6 (Schnüner & Rosswall, 1982).

Classificação dos atributos

Foram julgados adequados para indicar o nível de degradação do solo os atributos que apresentaram ajuste de regressão em função do número de distúrbios. Além disso, os atributos que apresentaram contraste de médias em números de distúrbios menores que o distúrbio final (ND₈) foram julgados como preditores de processos de degradação do solo.

Análise estatística

Avaliaram-se as associações entre os atributos pela análise de correlação de Pearson e testou-se o efeito da frequência do distúrbio sobre os atributos pelas análises de variância e regressão linear e teste de médias de Dunnet a 5%, utilizando o número de distúrbio 2 como testemunha relativa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De modo geral, perceberam-se alterações em função do número de distúrbio tanto para os atributos biológicos e bioquímicos quanto para os físicos e químicos (Quadro 2), entretanto, os atributos biológicos e bioquímicos

apresentaram contraste de médias em números de distúrbios menores que os físicos e químicos (Quadros 3 e 4), apresentando-se mais sensíveis.

Indicadores físicos e químicos da qualidade do solo

Observando-se o efeito da frequência das operações de aração e gradagem sobre os atributos físicos, verificou-se melhora do solo no distúrbio inicial (Quadro 3), pois como a área esteve em pousio por cinco anos, a mobilização inicial do solo reduziu o adensamento ao afrouxar a estrutura do solo, separando os agregados pelos pontos de clivagem, mas as operações seguintes determinaram perdas de qualidade em vários atributos, caracterizando-se assim um gradiente de degradação.

Quadro 2. Regressões ajustadas para atributos físicos, químicos, biológicos e bioquímicos⁽¹⁾ em função de números de distúrbios (ND) do solo induzidos por eventos de aração e gradagem

| Regressão | R ² |
|--|----------------|
| DMPA** = 3,10 - 0,11ND | 0,81 |
| PA** = 63,03 - 1,69ND | 0,77 |
| Mic** = 23,81 + 0,90ND - 0,088ND ² | 0,43 |
| pH* = 4,82 - 0,12ND + 0,01ND ² | 0,80 |
| H ⁺ +Al ⁺⁺⁺ = 3,46 + 0,045ND | 0,60 |
| CTC** = 4,62 + 0,075ND | 0,91 |
| Fosfatase*** = 241,16 - 13,27ND | 0,92 |
| β -glicosidase* = 32,43 - 1,15ND | 0,46 |
| Invertase* = 619,66 + 69,149ND - 11,367ND ² | 0,98 |
| Xilanase** = 141,75 - 8,825ND | 0,38 |
| AMT* = 13,30 - 0,360ND + 0,035ND ² | 0,63 |

⁽¹⁾ DMPA: diâmetro médio ponderado de agregados em mm; PA: percentagem de agregação em %; Mic: microporosidade em Uv%; H⁺+Al⁺⁺⁺: acidez potencial em cmol_c dm⁻³; CTC: capacidade de troca catiônica em cmol_c dm⁻³; atividade de β -glicosidase e fosfatase ácida em g de *p*-nitrofenil fosfato kg⁻¹ h⁻¹, atividade de invertase e xilanase em mg de glicose kg⁻¹ h⁻¹, AMT: atividade microbiológica total em mg de fluoresceína por kg⁻¹ h⁻¹.

*, ** ou ***: significância do modelo a 5, 1 e 0,1%.

Quadro 3. Efeito de distúrbios por aração e gradagem nos indicadores físicos e químicos da qualidade do solo

| Variáveis ⁽¹⁾ | Números de distúrbios | | | | | Média | CV (%) |
|--|-----------------------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|
| | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | | |
| DMPA, mm | 2,92 | 2,99 | 2,88 | 2,46 | 2,10* | 2,62 | 11,40 |
| PA, % | 59,89 | 61,70 | 59,61 | 54,58 | 47,55* | 57,39 | 8,65 |
| EAA, % | 72,21 | 71,41 | 69,08 | 71,85 | 72,67 | 70,15 | 5,16 |
| Ds, kg dm ⁻³ | 1,61 | 1,64 | 1,59 | 1,71 | 1,64 | 1,64 | 4,53 |
| PT, m ³ m ⁻³ | 0,36 | 0,36 | 0,36 | 0,33 | 0,35 | 0,35 | 7,89 |
| Mac, m ³ m ⁻³ | 0,13 | 0,09 | 0,12 | 0,06 | 0,10 | 0,10 | 37,93 |
| Mic, m ³ m ⁻³ | 0,23* | 0,27 | 0,25 | 0,27 | 0,25 | 0,25 | 6,20 |
| VIB, cm h ⁻¹ | 11,38 | 15,03 | 18,53 | 10,47 | 13,49 | 14,38 | 54,50 |
| K ₀ , cm h ⁻¹ | 22,33 | 28,21 | 31,85 | 18,50 | 22,70 | 25,87 | 84,71 |
| AD, Uv % | 5,75 | 6,40 | 5,72 | 5,74 | 5,43* | 5,80 | 9,25 |
| pH | 4,78 | 4,72 | 4,50 | 4,44 | 4,62 | 4,59 | 4,39 |
| P, mg dm ⁻³ | 3,96 | 3,76 | 4,00 | 3,98 | 4,40 | 4,02 | 27,56 |
| H ⁺ +Al ⁺⁺⁺ , cmol _c dm ⁻³ | 3,50 | 3,41 | 3,69 | 3,87 | 3,72 | 3,75 | 11,07 |
| S, cmol _c dm ⁻³ | 1,05 | 1,41 | 1,18 | 1,13 | 1,48 | 1,27 | 28,19 |
| CTC, cmol _c dm ⁻³ | 4,54 | 4,82 | 5,01 | 5,01 | 5,20 | 5,02 | 6,75 |
| m%, % | 37,94 | 27,73 | 39,95 | 39,46 | 32,11 | 35,44 | 35,84 |
| V%, % | 22,81 | 29,31 | 23,77 | 22,63 | 28,26 | 25,26 | 26,86 |
| MO, g kg ⁻¹ | 13,69 | 14,27 | 14,11 | 13,87 | 15,18 | 14,53 | 7,35 |

⁽¹⁾ DMPA: diâmetro médio ponderado de agregados; PA: percentagem de agregação; EAA: estabilidade de agregado em água; Ds: densidade do solo; PT: porosidade total; Mac: macroporosidade; Mic: microporosidade; VIB: velocidade de infiltração básica; K₀: condutividade hidráulica em solo saturado; AD: água disponível; P: fósforo disponível; H⁺+Al⁺⁺⁺: acidez potencial; S: soma de bases; m%: saturação por alumínio; CTC: capacidade total de troca de cátions; V%: saturação por bases e MO: matéria orgânica.

* Difere do número de distúrbio 2 pelo teste de Dunnett a 5%.

Os principais efeitos verificam-se na estrutura do solo, a qual integra diversas funções de seu funcionamento, assim como a redução do diâmetro médio de agregados em função do preparo periódico (Liveira, 2010). Neste estudo verificou-se que a frequência do preparo resultou em diminuição de 0,11 mm no diâmetro médio ponderado de agregados, e de 1,69% na percentagem de agregação do solo por número de eventos de aração e gradagem (Quadro 2).

Alterações na estrutura resultam em mudanças em atributos que envolvem os espaços vazios do solo. Assim, a utilização do arado e grade resultou em efeito variável na porosidade e densidade do solo (Quadro 3), o que pode ser atribuído à persistência dos efeitos da mobilização que determinaram a quebra dos agregados e, conseqüentemente, a redução do volume total de poros e principalmente de macroporos, com redução de 53,8% ($p < 0,05$) observada entre o tratamento controle e o ND₆. A diminuição e aumento no volume de macroporos foram coerentes com o efeito dos distúrbios na densidade do solo ($r = -0,94^{***}$), na microporosidade ($r = -0,78^{***}$), na velocidade de infiltração básica ($r = 0,55^{**}$), na condutividade hidráulica do solo saturado ($r = 0,46^*$) e na água disponível que reduziu 15,2% ($p < 0,05$) entre os números de distúrbios 2 e 8.

Para os atributos químicos pH, fósforo disponível (P), acidez potencial ($H^+ + Al^{+++}$), soma de bases (S), saturação por alumínio (m%), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V%) e matéria orgânica (MO), observaram-se valores baixos que ora reduziram com o número de distúrbio, como para pH e m%, e ora aumentaram, como para P, $H^+ + Al^{+++}$, S, CTC e V% (Quadro 3); entretanto o ajuste de regressão só foi possível para pH, $H^+ + Al^{+++}$ e CTC (Quadro 2).

Observando-se o aporte de MO no solo para o distúrbio inicial ND₂, a posterior redução até o ND₆ e o aumento no ND₈, pois neste último, aplicou-se por primeiro o tratamento de aração e gradagem, ocorrendo então incorporação da massa vegetal ainda fresca, pode-se entender grande parte da variação observada nos atributos químicos, de forma que a variação da MO em função dos distúrbios, ainda que não significativa, mostrou-se correlacionada com a variação da CTC ($r = 0,78^{***}$), da S ($r = 0,65^{***}$), da V% ($r = 0,49^{**}$) e da m% ($r = -0,42^*$).

Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo

O manejo físico do solo ocasionou alterações em fatores abióticos importantes para o habitat microbiano como aeração, umidade e acidez, e também nutricional, pois com a quebra dos agregados ocorre exposição da MO. Essas alterações nos atributos físicos e químicos implicaram em alterações bem maiores nos atributos biológicos e bioquímicos, tanto pelas diferenças significativas observadas (Quadro 4) quanto pela proporção dessas diferenças.

Quadro 4. Efeito de distúrbios por aração e gradagem nos indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo

| Variáveis ⁽¹⁾ | Números de distúrbios | | | | | Média | CV (%) |
|--------------------------|-----------------------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|
| | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | | |
| CBM | 0,87 | 0,85 | 0,92 | 0,60 | 0,60 | 0,74 | 54,95 |
| qMic | 0,11 | 0,10 | 0,11 | 0,08 | 0,07 | 0,09 | 34,86 |
| NBM | 0,17* | 0,30 | 0,19 | 0,15* | 0,16* | 0,20 | 40,06 |
| CBM/NBM | 5,68 | 3,01 | 4,85 | 4,37 | 4,36 | 4,15 | 53,56 |
| RBS | 0,07 | 0,06 | 0,07 | 0,06 | 0,09 | 0,07 | 53,36 |
| qCO ₂ | 0,10 | 0,14 | 0,10 | 0,13 | 0,16 | 0,13 | 62,22 |
| Arilsulfatase | 15,74 | 19,18 | 13,63 | 13,87 | 13,83 | 15,12 | 43,79 |
| Fosfatase | 226,81 | 233,26 | 191,18 | 156,76 | 132,31* | 178,38 | 14,44 |
| β -glicosidase | 28,50 | 36,53 | 25,87 | 25,93 | 22,27* | 27,65 | 24,63 |
| CMCase | 0,07 | 0,07 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 40,50 |
| Invertase | 0,62 | 0,72 | 0,70 | 0,64 | 0,44 | 0,62 | 29,09 |
| Xilanase | 0,11* | 0,18 | 0,10* | 0,07* | 0,08* | 0,11 | 38,44 |
| Lacase | 6,64 | 6,40 | 7,58 | 6,21 | 7,26 | 6,86 | 26,03 |
| AMT | 13,12 | 14,32 | 13,95 | 14,07 | 14,05 | 14,10 | 3,61 |

⁽¹⁾ CBM: carbono da biomassa microbiana em g kg⁻¹; NBM: nitrogênio da biomassa microbiana em g kg⁻¹; qMic: quociente microbiano; RBS: respiração basal do solo em g kg⁻¹ d⁻¹; qCO₂: quociente metabólico (RBS/CBM x 100); atividade de arilsulfatase, fosfatase e β -glicosidase em g de *p*-nitrofenil fosfato kg⁻¹ h⁻¹; atividade de carboximetilcelulase (CMCase), invertase e xilanase em g de glicose kg⁻¹ h⁻¹, atividade de lacase em μ mol de dihidroindol-quinona-carboxilato g⁻¹ h⁻¹, AMT: atividade microbiológica total em mg de fluoresceína por kg⁻¹ h⁻¹.

* Difere do distúrbio 2 pelo teste de Dunnet a 5%.

Para os atributos biológicos, ainda que raramente significativas, observaram-se até então maiores reduções entre o número de distúrbio inicial e final, que chegaram a 30,1% no carbono da biomassa microbiana (CBM), a 32,0% no quociente microbiano (qMic) e a 47,2% (p<0,05) no nitrogênio da biomassa microbiana (NBM), e aumentos de 31,1% na relação CBM/NBM, de 30,9% na respiração basal do solo (RBS) e de 11,8% no quociente metabólico (qCO₂).

Como o aumento da relação CBM/NBM indica mudanças na composição microbiana, como aumento na população de fungos (LI et al., 2004), e segundo Moreira & Siqueira (2002) mudança na composição microbiana é acompanhada

de maior atividade metabólica devido ao estresse na população, pôde-se constatar que o gradiente de distúrbio apresentou-se como fator de estresse microbiológico.

Para os atributos bioquímicos verificaram-se também aumento com o distúrbio inicial seguido de reduções significativas com a maior mobilização do solo (Quadro 4), o que evidenciou a indução que o resíduo vegetal incorporado e fragmentado pelos distúrbios ocasionou na biomassa microbiana para a produção de enzimas, verificando-se as atividades de enzimas mais correlacionadas com o NBM ($r = 0,40^*$ com fosfatase; $r = 0,46^*$ com β -glicosidase e $r = 0,62^{***}$ com xilanase) do que com o CBM ($r = 0,40^*$ com xilanase).

Para a atividade de arylsulfatase observaram-se redução de 27,9% ($p > 0,05$) entre o distúrbio inicial e final, notando-se valores equivalentes aos encontrados Pinto & Nahas (2002) que encontraram reduções da atividade dessa enzima para sistemas agrícolas com maior nível de antropização.

Para a atividade de fosfatase verificou-se uma redução de 13,27 g de *p*-nitrofenil fosfato $\text{kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ por número de distúrbio, o que significou uma redução de 43,3% ($p < 0,001$) entre o menor e o maior distúrbio e permitiu notar uma correlação moderada negativa dessa enzima com os teores de fósforo disponíveis ($r = -0,44^*$). Segundo Gatiboni et al. (2008), a atividade de fosfatase tem relação inversa com a disponibilidade de fósforo no solo.

A carboximetilcelulase (CMCase) apresentou uma redução de 12,1% ($p > 0,05$) entre o maior e menor distúrbio. Os valores de atividade dessa enzima foram vinte vezes maiores que os encontrados por Marchiori Júnior & Melo (1999) em área de pastagem com *Brachiaria decumbens*; entretanto, esses autores registraram atividades ainda menores dessa enzima para a área com cultivo anual de algodão.

Para β -glicosidase, em que maiores valores estão relacionados à maior diversidade vegetal e manutenção da cobertura do solo (Silva, 2008), verificou-se redução de 1,15 g de *p*-nitrofenil fosfato $\text{kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ por número de distúrbio (Quadro 2) e uma redução de 39,0% entre o número de distúrbio inicial e final, o que é preocupante pois, segundo Carneiro et al. (2008), alterações no solo que resultam

em redução acentuada na atividade dessa enzima podem retardar ou mesmo comprometer a reabilitação da área.

Para a atividade de invertase observou-se uma redução de 39,0% entre o número de distúrbio inicial e final, que significou elevado prejuízo para a microbiota do solo, em razão das invertases atuarem na hidrólise da sacarase, disponibilizando para os microorganismos carbono e energia para os processos de respiração e biossíntese.

A atividade de xilanase reduziu 8,83 mg de glicose $\text{kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ por número de distúrbio e apresentou-se como a atividade enzimática mais alterada, verificando-se uma redução de 57,2% entre o número de distúrbio inicial e o final.

Para atividade de lacase foi observado um aumento de 11,9% ($p > 0,05$) entre o distúrbio inicial e o final, que pode ser explicada pela redução de compostos orgânicos mais lábeis, induzindo a biomassa microbiana à maior produção dessa enzima e promover a degradação de compostos mais lignificados.

A atividade microbiológica total (AMT) reduziu 0,36 mg de fluoresceína por $\text{kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ por número de distúrbio, que significou redução de 2,0% na ciclagem de nutrientes no solo entre o número de distúrbio inicial e final, como constatado pelas associações da AMT com a Mic ($r = 0,52^*$), a S ($r = 0,39^*$), a m% ($r = -0,32$) e a V% ($r = 0,42^*$).

Indicadores e preditores de processos de degradação do solo

Para serem classificados como indicadores de degradação do solo, os atributos de qualidade do solo devem apresentar ajuste de regressão em função dos distúrbios, como foram observados para os atributos físicos: DMPA, PA e Mic; químicos: pH, $\text{H}^+ + \text{Al}^{+++}$ e CTC; e bioquímicos: atividade de enzima β -glicosidase, fosfatase, invertase, xilanase e AMT neste estudo, como também por Chaer & Fernandes (2009) em um experimento similar para o mesmo tipo de solo.

Para ser preditor de degradação do solo, além de indicar o nível de degradação, o atributo deve apresentar efeito de Dunnett para um número inferior ao distúrbio final como foi observado para a atividade de xilanase (Quadro 4) que apresentou valores reduzidos de atividade a partir do ND₄, mostrando-se

adequada para predizer o início do processo de degradação, resultado este discordante ao obtido por Chaer & Fernandes (2009).

CONCLUSÃO

Dentre os atributos avaliados, não somente os indicadores biológicos da qualidade do solo, como as atividades de β -glicosidase, fosfatase, invertase, xilanase e atividade microbiológica total, como também os atributos físicos e químicos como o diâmetro médio ponderado de agregados, a percentagem de agregados, a microporosidade, o pH, a acidez potencial e a capacidade de troca catiônica, mostraram-se adequados para indicar o nível de degradação do solo; mas, somente a atividade de xilanase foi adequada para predizer o início do processo de degradação.

LITERATURA CITADA

- ARAÚJO, A.S.F.; MONTEIRO, R.T.R. Indicadores biológicos. Biosci. J., 23:66-75, 2007.
- CARNEIRO, R.G.; MENDES, I.C.; LOVATO, P.E.; CARVALHO, A.M. & VIVALDI, L.J. Indicadores biológicos associados ao ciclo do fósforo em solos de Cerrado sob plantio direto e plantio convencional. Pesq. Agropec. Bras., 39:661-669, 2004.
- CARNEIRO, M.A.C.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S. & SOARES, A.L.L. Carbono orgânico, nitrogênio total, biomassa e atividade microbiana do solo em duas cronossequências de reabilitação após a mineração de bauxita. R. Bras. Ci. Solo, 32:621-632, 2008.
- CHAER, G.M. & FERNANDES, M.F. Sensibilidade de propriedades físicas, químicas e biológicas a um gradiente induzido de degradação do solo. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 32., Fortaleza, 2009. Anais. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, 2009. CD-ROM

- CHAER, G.M. & TÓTOLA, M.R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. R. Bra. Ci. Solo. 31:1381-1396, 2007.
- DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-21.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO – FAO BRASIL. Aumenta a degradação do solo. Disponível em: <https://www.fao.org.br/vernoticias.asp?id_noticia=467>. Acesso em 7 mar. 2008.
- GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S. & BRUNETTO, G. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatases ácidas durante a diminuição do fósforo disponível no solo. Pesq. agropec. bras., Brasília, 43:1085-1091, 2008.
- GODOI, L.C.L. Propriedades microbiológicas de solos em áreas degradadas e recuperadas na região dos cerrados goianos. 2001. 87f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2001.
- JOERGENSEN, R.G. & BROOKES, P.C. Ninhydrin-reactive nitrogen measurements of microbial biomass in 0,5 M K₂SO₄ soil extracts. Soil Biol. Biochem., 22:1023-1027, 1990.
- LI, Q.; ALLEN, H. L. & WOLLUM II, A. G. Microbial biomass and bacterial functional diversity in forest soils: Effects of organic matter removal, compaction, and vegetation control. Soil Biol. Biochem., Oxford, 36:571-579, 2004.
- LIVEIRA, V.S.; ROLIM, M M.; VASCONCELOS, R.F.B. & PEDROSA, E.M.R. Distribuição de agregados e carbono orgânico em um Argissolo Amarelo Distrocoeso em diferentes manejos. R. Bras. Eng. Agríc. Ambient. 14:907-913. 2010.

- MELO W.J. Enzima no solo. In: MONIZ, A.C.; FURLANI, A.M.C.; FURLANI, P.R. & FREITAS, S.S. (Eds.) A responsabilidade social da Ciência do Solo. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1988. p.365-378.
- MOREIRA, F. M. S. & SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras: Editora UFLA, 2002. 625 p.
- NOGUEIRA, M.A. & MELO, W.J. Enxofre disponível para a soja e atividade de arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. R. Bras. Ci. Solo, 27:655-663, 2003.
- PINTO, C.R.O. & NAHAS, E. Atividade e população microbiana envolvida nas transformações do enxofre em solos com diferentes vegetações. Pesq. Agropec. Bras., 37:1751-1756, 2002.
- RUEGGER, M.J.S. & TAUKE-TORNISIELO, S.M. Atividade da celulase de fungos isolados do solo da Estação Ecológica de Juréia-Itatins, São Paulo, Brasil. R. Bras. Bot., 27:205-211, 2004.
- SAVIOZZI, A.; BUFALINO, P.; LEVI-MINZI, R. & RIFFALD, R. Biochemical activities in a degraded soil restored by two amendments: a laboratory study. Biol. Fert. Soils, 35:96-101, 2002.
- SCHINNER, F. & von MERSI, W. Xylanase, CM-cellulase, and invertase activity in soil: an improved method. Soil Biology & Biochemistry, 22:511-515, 1990.
- SCHNÜNER, J. & ROSSWALL, T. Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. Applied and Environmental Microbiology, Washigton, 43:1256-1261, 1982.
- SILVA, L.G. Uso e monitoramento de indicadores microbiológicos para avaliação da qualidade dos solos de Cerrado sob diferentes agroecossistemas. 2008. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília. 2008.
- SILVA, M.; SIQUEIRA, E.R. & COSTA, J.L.S. Hidrólise de diacetato de fluoresceína como bioindicador da atividade microbiológica de um solo submetido a reflorestamento. Ci. Rural, 34:1493-1496, 2004.
- SINSABAUGH, R.L.; KLUG, M.J.; COLLINS, H.P.; YEAGER, P.E. & PETERSON, S.O. Characterizing soil microbial communities. In: ROBERTSON, G.P;

Coleman, D.C.; Bledsoe, C.S. & Sollins, P. (Eds.). Standard soil methods for long-term ecological research. New York, Oxford University Press, 1999.

TABATABAI, M.A. & BREMNER, J.M. Arylsulfatase activity of soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 34:225-229, 1970.

TABATABAI, M.A. & BREMNER, J.M. Distribution of total and available sulfur in selected soils and soil profiles. Agron. J., 64:40-44, 1972.

TABATABAI, M.A. Sulfur. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H. & KEENEY, D.R., eds. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1982. p.501-538.

TABATABAI, A. Soil enzymes. In: WAVER, R.W.; ANGLE, J.S. & BOTTOMLEY, P.S. (Eds). Methods of soil analyses. Part 2. Microbiological and Biochemical Properties, second ed. Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI, USA, 1994. p.775-833.

TAYLOR, J.P.; WILSON, B.; MILLS, M.S. & BURNS, R.G. Comparison of microbial numbers and enzymatic activities in surface soils and subsoils using various techniques. Soil Biol. Biochem., 34:387-401, 2002.

van GENUCHTEN, M.T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 44:892-898, 1980.

WARDLE, D.A. & GHANI, A. A critique of the microbial metabolic quotient (qCO_2) as a bioindicator of disturbance and ecosystem development. Soil Biol. Biochem., 2:1601-1610, 1995.

ZILLI, J.E.; RUMJANEK, N.G.; XAVIER, G.R.; COUTINHO, H.L.C. & NEVES, M.C.P. Diversidade microbiana com indicador de qualidade do solo. Cadernos de Ciência e Tecnologia, 20:391-411, 2003.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos sobre a qualidade dos solos nos Tabuleiros Costeiros têm mostrado escores globais para Latossolo Amarelo Coeso variando entre 0,49 e 0,75 conforme o manejo, mas nem sempre observando diferenças estatísticas entre os tratamentos estudados, sendo por muitas vezes satisfatória a boa produtividade do sistema constatada para solos com escores superiores a 0,5. Portanto, no presente estudo, a degradação do solo induzida pela aração e gradagem foi percebida não somente pelos efeitos negativos nos atributos como também em duas das três funções do solo avaliadas, e principalmente no índice global, fazendo refletir sobre a redução na produtividade de agroecossistemas sob manejo convencional de preparo periódico do solo, ainda que haja reposição de nutrientes pela adubação e emprego de bons tratamentos fitotécnicos.

O estudo da degradação em atributos físicos, químicos, biológicos e bioquímicos da qualidade do solo foi uma etapa de avaliação do potencial desses atributos para indicar e prever mudanças na qualidade do solo, e se completará com o estudo desses atributos no processo de recuperação de solos degradados. Contudo, mesmo que preliminares, os resultados aqui apresentados podem ser considerados de grande utilidade para o debate científico, de maneira que os atributos mais sensíveis ao manejo possam auxiliar em pesquisas que tratem de práticas culturais para melhorar a qualidade do solo e a produtividade agrícola.

Assim, espera-se que a metodologia utilizada possa futuramente ser aplicada em uma gama maior de solos da região dos Tabuleiros Costeiros, de forma que os coeficientes obtidos sejam usados no direcionamento de políticas governamentais que promovam a ocupação de solos mais estáveis frente aos distúrbios e restrinjam o uso dos mais frágeis a manejos menos intensivos.