

# DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE SUBSUPERFICIAL EM UM LATOSSOLO AMARELO COESO DOS TABULEIROS COSTEIROS, SOB FLORESTA NATURAL<sup>(1)</sup>

José Fernandes de Melo Filho<sup>(2)</sup>, André Leonardo Vasconcelos  
Souza<sup>(3)</sup> & Luciano da Silva Souza<sup>(4)</sup>

## RESUMO

O solo é um recurso natural fundamental para a vida. Sua capacidade para funcionar como substrato para vegetais, filtro ambiental, regulador de fluxo de gases, água e energia é definida como qualidade do solo, cuja quantificação pode ser feita via estabelecimento de um índice numérico, que permite monitorar os efeitos do uso agrícola nos atributos e propriedades do solo. O objetivo do presente trabalho foi determinar o índice de qualidade do solo (IQS) para os horizontes subsuperficiais em um Latossolo Amarelo coeso argissólico (LAX) dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural. A área estudada localiza-se em uma reserva de Mata Atlântica situada no município de Cruz das Almas-BA, e as amostras foram coletadas em um *grid* de 18 x 8 m, com espaçamento regular de 2 m, resultando em 50 repetições. Para determinação do índice de qualidade do solo, foram avaliados 11 indicadores de qualidade: macroporosidade, densidade do solo, condutividade hidráulica saturada, retenção de água a -33 kPa ( $U_{v33}/PT$ ), relação de disponibilidade de água no solo ( $AD/PT$ ), pH, resistência à penetração (RP), capacidade de troca catiônica (CTC), percentagem de saturação por bases (V), percentagem de saturação por alumínio (m) e teor de matéria orgânica (MO), agrupados em três funções principais: crescimento radicular em profundidade (CRP), condução e armazenamento de água (CAA) e suprimento de nutrientes

---

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Mestrado do segundo autor apresentada a Universidade Federal da Bahia - UFBA. Resumo apresentado na XVI Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, Aracaju, 2006. Recebido para publicação em agosto de 2005 e aprovado em julho de 2007.

<sup>(2)</sup> Professor Adjunto do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, CEP 44380-000 Cruz das Almas (BA). E-mail: jfmelo@ufba.br

<sup>(3)</sup> Professor da Escola Agrotécnica Federal de Santa Inês – EAFSI. CEP 45350-000 Santa Inês (BA). E-mail: andreleo1@yahoo.com.br

<sup>(4)</sup> Pesquisador da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. Caixa postal 007, CEP 44380-000 Cruz das Almas (BA). E-mail: lsouza@cnpmf.embrapa.br

(SN). O valor do IQS foi de 0,4620, indicando que o solo possui baixa qualidade para produção vegetal e seu uso em sistemas agrícolas exige melhorias nos indicadores de qualidade para o suprimento de nutrientes e condução e armazenamento de água.

**Termos de indexação:** qualidade do solo, solo coeso, manejo sustentável.

**SUMMARY:** DETERMINATION OF THE SUBSURFACE QUALITY INDEX IN A COHESIVE ARGISOLIC YELLOW LATOSOL UNDER NATURAL FOREST IN COASTAL PLAINS

*Soil is an essential natural resource for life. Its overall capacity to function as substratum for plants, as environmental filter and regulator of gas, water and energy flow is defined as soil quality. An soil quality index can be used to monitor the effects of agricultural use on the soil attributes. The objective of this study was to determine a soil quality index (SQI) for the subsurface horizons of a cohesive argisolic Yellow Latosol (LAX) of Coastal Plains under natural forest. The study area was located in the natural reserve of the Atlantic Forest in Cruz das Almas-BA, Brazil. The samples were collected in a 18 x 8 m grid at a regular distance of 2 m, with 50 replications. To determine the SQI, 11 quality indicators were evaluated: macroporosity, soil density, saturated hydraulic conductivity, water retention at -33 kPa ( $U_{v33}/TP$ ), relationship of water availability in the soil ( $WA/TP$ ), pH, penetration resistance, cation exchange capacity (CEC), base saturation (V %), aluminum saturation (m %), and organic matter. These indicators were grouped based on three main functions: root growth in depth; water conduction and storage; and nutrient supply. The SQI value was 0.4620, which indicates a soil of poor quality for crop production. The SQI index suggests that nutrient supply, water conduction and storage must be improved for the use of this soil in agricultural systems.*

*Index terms:* Soil quality, cohesive soil, sustainable management.

## INTRODUÇÃO

O solo é um dos elementos fundamentais da biosfera do planeta Terra, essencial para o bem-estar humano, para a produtividade na agricultura e para os ecossistemas naturais. É a base para a vida e sustentação de seres vivos, animais e vegetais, incluindo o próprio homem. Possui múltiplas funções no ambiente, como substrato para produção agrícola, regulador dos fluxos de água, gases e energia, filtro e tampão para materiais descartados e é, também, fundamental às obras de engenharia (Doran & Parkin, 1994; Larson & Pierce, 1994; Singer & Ewing, 2000). Sua capacidade de funcionar adequadamente no desempenho dessas funções é referida como “qualidade do solo” (Karlen et al., 1997). É um conceito antigo, porém ainda muito discutido e não aceito universalmente, devido à sua natureza dinâmica e complexa. Não obstante, é fundamental para quantificar os efeitos das ações antrópicas no ambiente, notadamente aqueles relacionados com a sustentabilidade das práticas agrícolas (Sojka & Upchurch, 1999; Wander & Drinkwater, 2000; Andrews et al., 2003).

Assim como o ar e a água, a qualidade do solo está diretamente relacionada com a “saúde” e produtividade

dos ecossistemas terrestres. No entanto, quanto aos solos, possivelmente devido às influências de fatores relativos à sua gênese, variabilidade, uso, manejo e dadas as diversas funções que pode desempenhar, tem sido difícil para os pesquisadores estabelecer critérios universais para definição e quantificação da sua qualidade (Glover et al., 2000). Por essa razão, vários conceitos foram propostos. Todos têm em comum a capacidade do solo de funcionar efetivamente no presente e no futuro, sendo o mais amplo aquele da Sociedade Americana de Ciência do Solo, que define qualidade do solo como “a capacidade de um tipo específico de solo funcionar, dentro dos limites de ecossistemas naturais ou manejados, para sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água, promovendo a saúde humana e a habitação” (Doran & Parkin, 1994; Karlen et al., 1997; Singer & Ewing, 2000).

Outra dificuldade para quantificação da qualidade do solo está relacionada ao método para transformar a natureza complexa e específica de cada solo em atributos mensuráveis, que possam refletir o seu “estado” para funcionar, possibilitando avaliações sistemáticas independentes de seus múltiplos usos (Sojka & Upchurch, 1999; Wander & Drinkwater, 2000). Uma das propostas mais objetivas sugere

definir explicitamente as funções que determinam a qualidade do solo, identificar os atributos de cada função e, então, selecionar um conjunto mínimo de indicadores para medir cada função (Doran & Parkin, 1994; Karlen & Stott, 1994; Larson & Pierce, 1994; Nortcliff, 2002). Dependendo da função para a qual uma avaliação está sendo feita, uma lista quase infinita de indicadores pode ser utilizada (Lal, 1999). Por isso, para avaliação de determinadas funções é preciso selecionar atributos, propriedades ou processos que, de alguma maneira: (a) influenciem a função para a qual 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).

Karlen et al. (1997) apresentam duas concepções para organizar o processo de avaliação da qualidade do solo. A primeira enfatiza que a qualidade é uma característica inerente a cada solo, sendo governada por seus processos de formação. Partindo desse princípio, cada solo possui uma habilidade natural para funcionar, definida por um conjunto de fatores, que refletem o máximo potencial de um solo para realizar uma função específica. A segunda concepção assume que, se um solo está funcionando de acordo com o seu máximo potencial para um determinado uso, ele terá excelente qualidade; se não, o seu potencial pode ter sido alterado pelo uso ou manejo, ou o solo naturalmente possui baixa qualidade.

A correta avaliação da qualidade exige métodos sistemáticos para medir e interpretar as contribuições das propriedades e atributos do solo que podem ser utilizados como indicadores de qualidade. Existem diversas proposições de métodos e modelos para avaliação do índice de qualidade do solo. Todos são conceitualmente similares e derivam daqueles propostos para determinação dos índices de produtividade (Chaer, 2001). Dentre os métodos mais utilizados, destaca-se o proposto por Karlen & Stott (1994). Esses autores sugerem um modelo aditivo, baseado nos conceitos para sistemas de engenharia, desenvolvidos por Wymore (1993) para suporte à decisão nas investigações de problemas ambientais. Apresentam uma estrutura de cálculo em que são estabelecidas as funções principais e seus respectivos indicadores de qualidade, com pesos para ponderação predefinidos. A aplicação do mecanismo desenvolvido por Wymore (1993) combina diferentes funções e indicadores para determinar o índice de qualidade do solo (IQS). Os resultados variam na escala de 0–1. Quando o resultado do IQS é 1, o solo apresenta alta qualidade para a função avaliada. Ao contrário, quando o IQS é zero ou um valor próximo, indica limitações ou baixa qualidade do solo. Karlen & Stott (1994) concluíram que o procedimento pode ser aplicado para avaliar a qualidade do solo para diversas situações, o que foi confirmado por vários autores.

Hussain et al. (1999) adaptaram o IQS para avaliar o efeito de três sistemas de manejo – plantio direto, arado de disco e arado de aiveca – na qualidade do solo

quando cultivado com milho e soja. Concluíram que o IQS pode ser modificado para aumentar a sensibilidade em relação às condições de uso e manejo e que é uma boa ferramenta para identificar problemas de manejo relativos à sustentabilidade do uso do solo. Glover et al. (2000), admitindo a necessidade de desenvolvimento de um método universal para monitorar o IQS, modificaram e também aplicaram o método de Karlen & Stott (1994) para avaliar os efeitos de diferentes sistemas de produção de maçã no IQS. Registraram, em suas conclusões, que se trata de uma ferramenta eficiente e fácil de ser usada, cujas características são flexíveis o suficiente para possibilitar sua aplicação em diferentes regiões, sistemas de cultivo e objetivos de avaliação.

No Brasil, dois trabalhos, Chaer (2001) e Souza et al. (2003), aplicaram criteriosamente o método de Karlen & Stott (1994). Chaer (2001) modificou o IQS para avaliar o efeito de diferentes manejos na cultura do eucalipto sobre a qualidade do solo. Verificou que se trata de uma ferramenta efetiva para avaliar mudanças no solo decorrentes dos sistemas de manejo e seus efeitos na qualidade deste, para produção de floresta cultivada, podendo-se afirmar que os índices mais elevados realmente correspondem aos solos com melhor qualidade.

Souza et al. (2003) aplicaram o IQS em um estudo de caso com enfoque na produção de citros em solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. Concluíram que o método é prático e adequado para estimar o índice de qualidade do solo, uma vez que permite identificar as funções principais e os indicadores limitantes, possibilitando orientar as intervenções para melhorá-los.

Por outro lado, para identificar o potencial ou as limitações de funcionamento de um tipo de solo, é preciso estabelecer um referencial, o qual se relaciona ao solo em estado natural, sem alterações antrópicas por uso. Teoricamente, nessas condições o solo expressaria o seu potencial, suas limitações e sua qualidade de referência, pois, quando ocorre a modificação de sistemas naturais para agrícolas, muitos atributos do solo são alterados para melhor ou pior, e sua qualidade também é modificada (Doran & Parkin, 1994; Melo Filho et al., 2004). Contudo, as áreas de florestas e vegetação natural têm sido reduzidas em todo o mundo e muito intensamente nos Tabuleiros Costeiros do Brasil, restringindo significativamente as possibilidades de estabelecer referenciais de qualidade do solo, razão pela qual deve-se aproveitar as oportunidades que ainda existem para avaliações desse tipo.

Os Tabuleiros Costeiros são formações terciárias, com características geopedoclimáticas bem definidas, que se estendem pela região costeira brasileira, do Amapá ao Rio de Janeiro, caracterizados por uma planície de 30 a 200 m de altitude, limitada por morros do cristalino na parte ocidental e pela baixada litorânea na parte oriental (Jacomine, 1996). Nesse ecossistema, as áreas remanescentes de floresta

natural representavam apenas 18,6 % de sua área total (Souza et al., 2002). Os solos predominantes das áreas de Tabuleiros Costeiros são os Latossolos Amarelos e os Argissolos Amarelos, que representam cerca de 67,5 e 25 %, respectivamente, de todos os solos nesse ecossistema (Jacomine, 1996). Esses solos possuem um impedimento físico, mesmo sob condição natural, denominado de horizonte coeso. Em geral, os horizontes coesos apresentam consistência muito dura quando secos, dificultando a penetração de raízes e o armazenamento e distribuição de água ao longo do perfil (Souza, 1996; Jacomine, 1996). A presença dos horizontes coesos, associada às limitações químicas, elevada acidez e à presença de Al trocável em altas percentagens, indicam que esses solos podem apresentar, sob condição natural, baixo índice de qualidade para crescimento das plantas e produção vegetal.

O presente estudo teve como objetivo determinar o índice de qualidade do solo (IQS) para um Latossolo Amarelo coeso argissólico (LAX) dos Tabuleiros Costeiros sob floresta natural.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Local

A área estudada está localizada em uma reserva municipal de Mata Atlântica, situada no município de Cruz das Almas-BA, cujas coordenadas geográficas são 39° 06' de latitude sul e 12° 40' de longitude Oeste, com altitude média de 220 m. O clima local, segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical quente e úmido (Aw a Am). A precipitação média anual é de 1.206 mm, com variações entre 1.000 e 1.300 mm ano<sup>-1</sup>; a temperatura média anual é de 24,2 °C, sendo os meses de janeiro e fevereiro os mais quentes. O relevo da área é plano, e o solo foi classificado como Latossolo Amarelo coeso argissólico (LAX).

### Amostragem do solo e análises

As amostras foram coletadas nos pontos de cruzamento de uma malha de 18 x 8 m, com espaçamento regular de 2 m, resultando em 50 pontos de amostragem para uma área total de 144 m<sup>2</sup>. Em cada ponto foram coletadas amostras indeformadas e deformadas. Estas últimas foram coletadas com trado tipo sonda, e as indeformadas, com amostrador tipo Uhland, em duas profundidades diferentes, tendo como referência o horizonte coeso, ou seja, uma amostra no interior do coeso e outra 0,2 m acima deste. Em média, as amostras foram retiradas nas profundidades de 0,4 e 0,6 m, em pequenas trincheiras especialmente feitas para esse fim.

Para determinação do índice de qualidade do solo foram avaliados 11 indicadores de qualidade: macroporosidade, densidade do solo, condutividade

hidráulica no solo saturado, relação umidade volumétrica retida a tensão de 33 kPa/porosidade total (U<sub>v33</sub>/PT) e relação de água disponível/porosidade total (AD/PT), pH, resistência à penetração (RP), capacidade de troca catiônica (CTC), percentagem de saturação por bases (V), percentagem de saturação por Al<sup>3+</sup> (m) e matéria orgânica (MO). Utilizaram-se os seguintes métodos: porosidade total, macro e micro-porosidade e densidade do solo; pH; capacidade de troca catiônica; saturação por bases e saturação por alumínio (Embrapa, 1997); retenção de água em câmaras de pressão de Richards (Kiehl, 1979); condutividade hidráulica no solo saturado pelo método do permeâmetro de carga decrescente (Libardi, 2000); e matéria orgânica (Walkley & Black, 1937), descrito em Raj & Quaggio (1983). Para resistência à penetração utilizou-se o penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf, seguindo método proposto por Stolf et al. (1983). Os dados experimentais de resistência à penetração foram obtidos em kgf cm<sup>-2</sup> e depois multiplicados pela constante 0,098, para transformação em MPa (Beutler et al., 2001). Objetivando padronizar as medidas de resistência à penetração para uma mesma umidade – neste caso, retida na tensão de 100 kPa –, medidas de resistência à penetração e umidade foram coletadas durante oito meses, abrangendo desde a época mais úmida até a mais seca, de maneira a obter medidas para diversas umidades no solo. Os pares de dados foram plotados em um gráfico de RP x U (umidade gravimétrica) e equações de regressão foram ajustadas, sendo possível obter o valor da RP para 100 kPa.

### Índice de qualidade do solo (IQS)

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

$$IQS = \sum qWi \quad (wt) \quad (1)$$

em que IQS é o índice de qualidade do solo;  $qWi$ , o valor calculado para as funções principais que compõem o índice; e  $wt$ , um peso numérico atribuído a cada função na composição do índice geral de qualidade. As funções principais são escolhidas de acordo com o objetivo da avaliação e devem ser acompanhadas de indicadores físicos, químicos e biológicos, relacionados diretamente com sua medida. Os pesos numéricos são atribuídos às funções de acordo com o grau de importância destas para o funcionamento do solo, no desempenho da função para a qual o índice está sendo calculado. Podem ser usados critérios socioeconômicos, necessidades de cultivo, necessidades dos agricultores e preocupações ambientais. O somatório dos pesos de todas as funções principais deve ser 1,0. Esse é o valor do IQS para um solo ideal em relação ao objetivo considerado. Quando o solo apresenta limitações e não tem qualidade, o valor é zero,

sendo este o menor valor possível. Após atribuir os pesos relativos para as funções, devem ser identificados e priorizados os indicadores que influenciam cada uma, em diversos graus. Assim como para as funções principais, pesos numéricos devem ser atribuídos para os indicadores, e, quanto maior o nível do indicador, maior sua associação com a função. Da mesma forma, o somatório geral dos pesos dos indicadores em cada nível deve ser 1,0.

Depois de identificadas as funções principais, seus indicadores e respectivos pesos, cujos valores são multiplicados, é necessário normalizar os valores em uma escala única, também entre 0 e 1. O mecanismo utilizado é uma função para padronização de escores, que foi desenvolvida para sistemas de engenharia por Wymore em 1993 (Glover et al., 2000). A função é a seguinte:

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

em que *v* é a pontuação padronizada; *B*, o valor crítico ou limite-base do indicador, cujo escore padronizado é 0,5, e que estabelece o limite entre a ruim e a boa qualidade do solo; *L*, o valor inicial ou mais baixo que uma propriedade do solo possa expressar, podendo ele ser de 0; *S*, a inclinação da tangente à curva no ponto correspondente ao valor crítico do indicador; e *x*, o valor da propriedade ou indicador medido no campo.

Para aplicar a equação de Wymore (1993), primeiramente é preciso calcular a inclinação (*S*) da tangente da curva de pontuação no valor crítico do indicador. Expressando *S* na equação 2, tem-se:

$$S = \frac{\log(\frac{1}{v}) - 1}{\log(\frac{B-L}{x-L}) \cdot 2(B+x-2L)} \quad (3)$$

Usando as curvas de padronização de escores, geram-se três funções típicas de padronização (Figura 1): (a) “mais é melhor”, (b) “valor máximo” e (c) “menos é melhor”.

Na padronização dos atributos são utilizados dois valores-limite, superior e inferior, e um valor crítico. Os valores-limite superiores são os dos indicadores de qualidade em que a função de pontuação equivale a 1, quando a propriedade do solo medida está em nível ótimo. Os valores-limite inferiores são aqueles dos indicadores de qualidade em que a função de pontuação equivale a 0 (zero), quando a propriedade do solo está em nível inaceitável. Os valores críticos são aqueles nos quais a função de pontuação é igual a 0,5. Tanto as curvas de padronização quanto os valores-limite – superior, inferior e crítico – devem ser criteriosamente estabelecidos. Devem-se utilizar informações de pesquisadores notoriamente conhecedores do assunto, bancos de dados específicos devidamente documentados e valores obtidos para condições

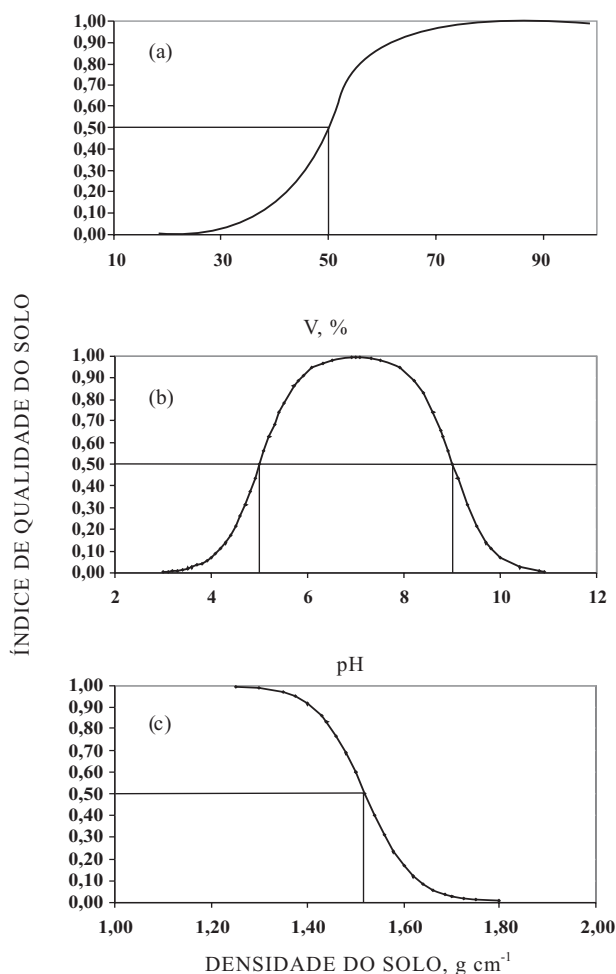


Figura 1. Funções de pontuação padronizada: (a) “mais é melhor”, (b) “valor máximo”, e (c) “menos é melhor”. Fonte: Karlen & Stott (1994).

ideais e semelhantes de solo e cultivo (Karlen & Stott, 1994; Glover et al., 2000).

A curva de padronização do tipo “mais é melhor” possui declividade (*S*) positiva e é utilizada para padronização de indicadores em que os maiores valores melhoram a qualidade do solo, a exemplo da CTC, *V*, estabilidade de agregados e teor de CO<sub>2</sub>; a de “valor máximo” possui inclinação positiva até o valor máximo e é usada para indicadores que apresentam efeito positivo na qualidade do solo até determinado valor, a partir do qual sua influência é detrimental ou negativa, a exemplo da macroporosidade, do pH e da condutividade hidráulica em solo saturado. As curvas de padronização do tipo “menos é melhor” possuem declividade negativa e padronizam indicadores como a densidade do solo, a resistência à penetração e a saturação por Al<sup>3+</sup>, em que a qualidade está associada a menores valores destes. Um exemplo dos três tipos de função pode ser visto na figura 1. A inclinação (*S*) da curva de padronização de escore no valor crítico é determinada, mais facilmente, utilizando-se planilhas eletrônicas em programas de computador.

### Crítérios utilizados para avaliar o índice de qualidade do solo (IQS)

O critério fundamental deste estudo foi utilizar os mesmos princípios estabelecidos por Souza et al. (2003). Esses autores reuniram um excelente conjunto de argumentos e critérios para avaliação do IQS para duas classes de solos coesos cultivados com citros, não havendo razão para outra proposição diferente. Com isso, espera-se facilitar as comparações e entendimentos referentes à aplicação do método de Karlen & Stott (1994). Assim, foram definidas três funções principais, seus respectivos indicadores de qualidade e ponderadores (Quadro 1). As funções principais foram: crescimento radicular em profundidade (CRP), condução e armazenamento de água (CAA) e suprimento de nutrientes (SN).

O cálculo do IQS foi feito da seguinte forma:

$$q(FP) = I_1 \times W_1 + \dots + I_n \times W_n \quad (4)$$

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

Na segunda etapa multiplicaram-se os valores encontrados em cada função principal pelo seu

respectivo ponderador e efetuou-se a soma dos resultados, determinando assim o índice de qualidade do solo (IQS).

$$IQS = (qCRP \times wCRP) + (qCAA \times wCAA) + (qSN \times wSN) \quad (5)$$

em que  $qCRP$  é o valor ponderado da função principal crescimento do sistema radicular em profundidade;  $qCAA$ , a função capacidade de condução e armazenamento de água;  $qSN$ , a função suprimento de nutrientes; e  $w$ , os ponderadores associados a cada função principal.

Nesta avaliação utilizou-se a média dos valores do IQS obtidos para as duas profundidades amostradas. Nesse caso, considera-se que a amostra da profundidade de 0,4 m representa a média da camada de 0–0,4 m e que a amostragem de 0,6 m representa a camada coesa, cuja presença nesses solos é determinante para o rendimento agrícola das espécies cultivadas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Latossolo Amarelo coeso argissólico (LAX) apresenta, nas condições desta avaliação, acidez elevada e extrema pobreza de nutrientes. Possui

**Quadro 1. Funções principais e indicadores físicos e químicos utilizados na avaliação da qualidade em um Latossolo Amarelo coeso argissólico sob mata natural no ambiente dos Tabuleiros Costeiros**

Função principal	Ponderador da função	Indicador de qualidade (*)	Ponderador do indicador	Limite crítico		Referências dos limites críticos
				Inferior	Superior	
Crescimento radicular em profundidade (CRP)	0,40	RP <sub>100kPa</sub> (MPa)	0,40	2,0	0,30	Taylor et al. (1966)
		Mp (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,30	0,10		Carter (2002)
		Ds (kg dm <sup>-3</sup> )	0,10	1,59		Souza et al. (2003)
		m (%)	0,20	50		Lepsch (1983)
Condução e armazenamento de água	0,40	K <sub>0</sub> (cm h <sup>-1</sup> )	0,20	2,0	20	Lepsch (1983)
		Mp (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,20	0,10	0,30	Carter (2002)
		U <sub>v33kPa</sub> /PT	0,30	0,55		Souza et al. (2003)
		AD/PT	0,30	0,125		Souza et al. (2003)
Suprimento de nutriente (SN)	0,20	pH em água	0,10	5,0	6,5	C. E. F. Solo (1989)
		CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,40	4,0		Lepsch (1983)
		V (%)	0,20	50		Lepsch (1983)
		MO (g kg <sup>-1</sup> )	0,30	15		C. E. F. Solo (1989)

RP<sub>100 kPa</sub>: resistência à penetração a 100 kPa de umidade no solo, Mp: macroporosidade do solo, Ds: densidade do solo, m: saturação por alumínio, K<sub>0</sub>: condutividade hidráulica do solo saturado, U<sub>v33kPa</sub>/PT: relação umidade volumétrica retida a 33 kPa/porosidade total, AD/PT: relação água disponível/porosidade total, CTC: capacidade de troca catiônica, V: saturação por bases, MO: matéria orgânica.

textura franco-argilo-arenosa e CTC média, indicando que, sob condições naturais ácidas, apresenta elevado potencial de perdas de nutrientes por lixiviação. A soma das bases indica que a oferta de nutrientes para as plantas é limitada, assim como a proporção entre eles está completamente desbalanceada. Trata-se de um solo que oferece sérias limitações ao crescimento das plantas (Quadro 2).

A baixa fertilidade química e as limitações físicas estão refletidas no IQS determinado para o LAx, cujos valores para as funções principais e indicadores estão sumarizados no quadro 3. O valor do IQS foi de 0,4620, o que, segundo Karlen & Stott (1994), confere a este solo baixa qualidade para produção vegetal, confirmando as observações de Souza (1996), Borges & Kiehl (1997), Matias (2003) e Melo Filho et al. (2004). Na composição geral do IQS, as funções tiveram as seguintes participações: crescimento radicular em profundidade (CRP), aproximadamente 64 %; condução e armazenamento de água (CAA), aproximadamente 19 %; e suprimento de nutrientes (SN), 17 %.

Na função crescimento radicular em profundidade, a que mais contribuiu para a composição do IQS do LAx, os indicadores que influenciaram a formação do índice de qualidade foram:  $RP_{100\text{ kPa}}$  (0,7863 MPa), saturação por  $Al^{3+}$  (41 %) e macroporosidade (0,104  $m^3\ m^{-3}$ ), que representaram 53,4, 23,2 e 22,9 %, respectivamente, do valor total do IQS da função. A resistência à penetração e a saturação por  $Al^{3+}$  são dois indicadores do tipo “menos é melhor” e, como seus valores medidos no campo ficaram abaixo dos limites críticos estabelecidos, seus respectivos escores padronizados também foram altos e contribuíram para melhorar o índice. Contudo, deve-se registrar que a resistência à penetração apresentou esse comportamento e só melhorou o IQS da função CRP por ter sido estimada para a umidade a -100 kPa, tendo em vista que, no campo, várias medidas deste indicador ficaram acima do limite crítico de 2,0 MPa, como se verificou, principalmente, na camada coesa do solo, cuja manifestação de resistência ao crescimento radicular das plantas é dependente da umidade do solo. Considerando, então, que no campo a condição mais comum é o solo apresentar-se com teor de água inferior ao da capacidade de campo, isso também indica que a padronização da resistência à penetração para a umidade retida a tensão de 100 kPa pode não ser a melhor forma de expressar esse importante indicador

da qualidade do solo. A macroporosidade apresentou-se com valor muito próximo do limite crítico de 0,10  $m^3\ m^{-3}$ , porém ainda contribuiu positivamente para o IQS da função CRP, tendo em vista que os valores observados não foram suficientes para indicar restrições às trocas gasosas nem a permeabilidade da água, o que possibilitou um escore padronizado acima de 0,5 e a significativa contribuição relativa, 23 %, deste indicador para a função. A densidade do solo praticamente não contribuiu para composição do IQS da função CRP, apresentando valor médio elevado, de aproximadamente 1,7  $kg\ dm^{-3}$ ; no entanto, esse valor deve ser considerado com ressalva, uma vez que o valor de macroporosidade não foi limitante e a granulometria mostrou que o solo apresenta elevados teores de areia em sua composição.

Os resultados mostram que o funcionamento do LAx para conduzir e armazenar água é limitado. O valor absoluto do IQS calculado para essa função foi de 0,0868, representando apenas 18,78 % do índice global de qualidade (Quadro 3), quando ela deveria ser responsável por 40 % do IQS. Nesta função (CAA), os indicadores que determinaram a queda do IQS estiveram relacionados com a porosidade total do solo – foram eles as relações  $AD/PT$  e  $U_{V_{33kPa}}/PT$ . Elas apresentaram valores médios muito abaixo dos limites críticos e, conseqüentemente, escores padronizados, quase insignificantes (Quadro 3). Contribuíram, respectivamente, apenas com 0,02 e 1,10 % na composição da função, quando cada uma individualmente deveria significar 30 % do total. A possível explicação para esse fato está associada à baixa retenção de água, devido ao elevado percentual de areia. Verifica-se também que os indicadores macroporosidade e condutividade hidráulica em solo saturado, ambos com curva de padronização do tipo “máximo”, obtiveram valores superiores aos limites críticos iniciais estabelecidos pela literatura (Lepsch, 1983), o que resultou em escores padronizados elevados e evitou maior redução do IQS para a função CAA. No entanto, deve-se ressaltar que o indicador condutividade hidráulica em solo saturado só contribuiu para melhorar o IQS da função CAA devido ao uso de valor médio entre as duas profundidades escolhidas para este estudo. Quando se analisa separadamente o valor de  $K_o$ , verifica-se que este indicador foi melhor na camada coesa que na camada superficial, visto que se aproxima dos valores de condutividade hidráulica moderada (Lepsch, 1983),

**Quadro 2. Características químicas e físicas do Latossolo Amarelo coeso argissólico sob floresta natural**

Profundidade	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H	S	T	V	m	MO	Areia	Silte	Argila
M		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					%				g kg <sup>-1</sup>			
0,4	4,48	0,76	0,47	0,08	1,02	3,39	1,31	5,75	22,8	43,8	6,9	666,8	63,5	269,6
0,6	4,43	0,90	0,5	0,08	0,97	3,55	1,48	6,05	24,5	39,6	7,9	621,3	76,5	302,2

**Quadro 3. Índice de qualidade (IQS) para o Latossolo Amarelo coeso argissólico sob floresta natural**

Função principal	Ponderador (A)	IQ <sup>(1)</sup> (*)	Ponderador (B)	VM <sup>(2)</sup>	Escore <sup>(3)</sup> (C)	Soma				Índice <sup>(4)</sup>		
						(B) x (C)		(B) x (C) =			(A) x (D)	
						Absoluto	(%)	(D)	Absoluto		(%)	
CRP	0,40	RP <sub>100 kPa</sub>	0,40	0,786	0,99	0,396	53,44					
		Mp	0,30	0,104	0,566	0,170	22,91	0,741	0,2966	64,19		
		Ds	0,10	1,687	0,0334	0,003	0,45					
		m	0,20	40,966	0,860	0,172	23,20					
CAA	0,40	K <sub>0</sub>	0,20	19,97	0,506	0,101	46,66					
		Mp	0,20	0,104	0,566	0,113	52,22	0,217	0,0868	18,78	0,4620	
		UV <sub>33kPa/PT</sub>	0,30	0,315	0,0080	0,002	1,10					
		AD/PT	0,30	0,082	0,0002	0,00005	0,02					
SN	0,20	pH	0,10	4,456	0,1953	0,020	4,96					
		CTC	0,40	5,900	0,9288	0,372	94,41	0,394	0,0787	17,03		
		V	0,20	24,266	0,0046	0,001	0,23					
		MO	0,30	7,404	0,0051	0,002	0,39					

<sup>(1)</sup> Indicador de qualidade. <sup>(2)</sup> Valor médio observado. <sup>(3)</sup> Escores padronizados. <sup>(4)</sup> Índice de qualidade.

CRP: crescimento radicular em profundidade, CAA: condução e armazenamento de água, SN: suprimento de nutrientes.

confirmando também as observações de Cintra et al. (1997) quanto ao efeito regulador desta camada na disponibilidade de água para as plantas.

A função suprimento de nutrientes foi a mais limitante das três para o IQS do LAX. Em valores relativos, contribuiu aproximadamente, como esperado, para a composição do IQS. Representou 17 % do valor total do índice, embora seu valor absoluto (0,0788) tenha sido muito baixo. Nesta função, o principal problema está relacionado à participação dos seus indicadores na composição do índice de qualidade. Verifica-se que a V, a MO e o pH representaram apenas 0,2, 0,4 e 4,9 %, respectivamente, e praticamente não contribuíram para o índice da função. Tratando-se de horizontes subsuperficiais, esses resultados são esperados, sobretudo em relação à MO, cujo teor ocorre nas camadas superiores do perfil; por essa razão, o IQS da função suprimento de nutrientes resultou basicamente da contribuição da CTC, com 94,4 %, que, embora tenha sido baixa, foi o único indicador da função SN que mostrou valor médio acima do limite crítico. Contudo, deve-se ressaltar que são valores não relacionados a grandes teores de bases, mas à elevada acidez potencial e, principalmente, à dissociação de íons H<sup>+</sup>, devido ao material de origem e à alta pluviosidade, responsável pela remoção das bases do perfil, conforme explica

Ribeiro (1998); isso confirma os resultados encontrados por Borges & Kiehl (1997) e Matias (2003), quando estudaram o Latossolo Amarelo coeso sob a mesma mata natural. No entanto, o baixo valor da V do LAX parece não ser uma situação exclusiva da condição de uso com mata, tendo em vista que o mesmo comportamento foi observado em cultivos de manga, banana, citros, mandioca, eucalipto e pastagem por Borges & Kiehl (1997) e Matias (2003).

## CONCLUSÃO

Do ponto de vista do uso e manejo e considerando tratar-se de uma avaliação com características subsuperficiais, verifica-se que o valor do IQS global do LAX, de 0,4620, sugere que a produção agrícola nessa classe de solo nos Tabuleiros Costeiros deve ser realizada necessariamente com a melhoria da capacidade de retenção e armazenamento de água, a redução da acidez e o aumento da oferta de nutrientes. Nessas condições de avaliação, não se verificou impedimento ao crescimento do sistema radicular das plantas; no entanto, é possível afirmar que a resistência à penetração, principalmente no período seco, seria um indicador limitante ao crescimento radicular em profundidade.



## LITERATURA CITADA

- ANDREWS, S.S.; FLORA, C.B.; MITCHELL, J.P. & KARLEN, D.L. Growers perceptions and acceptance of soil quality indices. *Geoderma*, 114:187-213, 2003.
- BEUTLER, A.N.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; CRUZ, J.C. & PERREIRA 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.
- BORGES, A.L. & KIEHL, J.C. Cultivo de fruteiras perenes e de mandioca sobre as propriedades químicas de um Latossolo Amarelo álico de Cruz das Almas (BA). *R. Bras. Ci. Solo*, 21:341-345, 1997.
- CARTER, M.R. Quality, critical limits and standardization. In: LAL, R., ed. *Encyclopedia of soil science*. New York, Marcel Dekker, 2002. p.1062-1065.
- CHAER, G.M. Modelo para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 90p. (Tese de Mestrado)
- 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 dos solos. *B. Inf. SBSCS*, 1:81-95, 1997.
- 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.
- DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BZEDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, Soil Science Society of America 1994. p.3-21. (Special Publication, 35)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- GLOVER, J.D.; REGANOLD, J.P. & ANDREWS, P.K. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. *Agric. Ecosys. Environ.*, 80:29-45, 2000.
- HUSSAIN, I.; OLSON, K.R.; WANDER, M.M. & KARLEN, D.L. Adaptation of soil quality indices and application to three tillage systems in Southern Illinois. *Soil Till. Res.*, 50:237-249, 1999.
- JACOMINE, P.K.T. Distribuição geográfica, características e classificações dos solos coesos dos tabuleiros costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS, Cruz das Almas, 1996. Anais. Cruz das Almas, EAUFB/GVFBA, EMBRAPA/CNPMF, 1996. p.13-26.
- KARLEN, D.L. & STOTT, D.E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BZEDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.53-72. (Special Publication, 35)
- KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M.J.; DORAN, J.W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R.F. & SCHUMAN, G.E. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation (A guest editorial). *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61:4-10, 1997.
- KIEHL, E.J. Manual de edafologia. São Paulo, Agronômica Ceres, 1979. 262p.
- LAL, R. Métodos para avaliação do uso sustentável dos recursos solo e água nos trópicos. Jaguariúna, Embrapa Meio Ambiente, 1999. 97p. (Documentos, 3)
- LARSON, W.E. & PIERCE, F.J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BZEDICEK, D.F. & STEWART, B.A. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.37-52. (Special Publication, 35)
- 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.
- LIBARDI, P.L. Dinâmica da água no solo. 2.ed. Piracicaba, Edição do Autor, 2000. 509p.
- MATIAS, M.I.A.S. Influência da cobertura vegetal na disponibilidade de nutrientes e na distribuição o sistema radicular em Latossolo Amarelo coeso de Tabuleiro Costeiro. Cruz das Almas, Universidade Federal da Bahia, 2003. 78p. (Tese de Mestrado)
- MELO FILHO, J.F.; DEMATTÊ, J.A.M.; LIBARDI, P.L. & PORTELA, J.C. Comportamento espectral de um Latossolo Amarelo coeso argissólico em função de seu uso e manejo. *Magistra*, 16:105-112, 2004.
- NORTCLIFF, S. Standardisation of soil quality attributes. *Agric. Ecosys. Environ.*, 88:161-168, 2002.
- RAIJ, B.van & QUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agronômico, 1983. 31p. (Boletim Técnico, 81)
- RIBEIRO, L.P. Os Latossolos Amarelos do Recôncavo Baiano: Gênese, evolução e degradação. Salvador, Seplante - CADCT, 1998. 99p.
- SINGER, M.J. & EWING, S. Soil quality. In: SUMMER, M.E., ed. *Handbook of soil science*. New York, CRC Press, 2000. Section G. p.271-298.
- SOJKA, R.E. & UPCHURCH, D.R. Reservations regarding the soil quality concept. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63:1039-1054, 1999.
- SOUZA, L.S. Uso e manejo dos solos coesos dos tabuleiros costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS, Cruz das Almas, 1996. Anais. Cruz das Almas, EAUFB/GVFBA, EMBRAPA/CNPMF, 1996. p.36-75.
- SOUZA, L.S.; BORGES, A.L.; CINTRA, F.L.D.; SOUZA, L.D. & MELLO IVO, W. M.P. Perspectivas de uso dos solos dos Tabuleiros Costeiros. In: ARAÚJO, Q.R.A., org. 500 anos de uso do solo no Brasil. Ilhéus, Editus, 2002. p.521-580.
- 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., Ribeirão Preto, 2003. Anais. Ribeirão Preto, UNESP, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. CD-ROM.

- STOLF, R.; FERNANDES, J. & FURLANI NETO, V.L. Recomendação para uso do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar – Stolf. R. STAB – Açúcar, Álcool Subpr., 1:1-10, 1983.
- 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
- WANDER, M.M. & DRINKWATER, L.E. Fostering soil stewardship through soil quality assessment. Appl. Soil Ecol., 15:61-73, 2000.
- WYMORE, A.W. Model-based systems engineering: An introduction to the mathematical theory of discrete systems and to the tricotyledon theory of system design. Boca Raton, CRC Press, 1993.