

## **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO EM ÁREAS DE CACAU CABRUCÁ, MATA E POLICULTIVO NO SUL DA BAHIA**

*Cinira A. F. Fernandes<sup>1</sup>, Quintino R. Araujo<sup>2,3</sup>, George A. Sodré<sup>2,3</sup>, Luciano S. Souza<sup>4</sup>,  
Eduardo Gross<sup>3</sup>, Sérgio Oliveira<sup>3</sup>, Virupax Baligar<sup>5</sup>*

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Baiano. cinirafarias@gmail.com; <sup>2</sup>Centro de Pesquisa do Cacau (CEPEC/CEPLAC), Ilhéus, Bahia, Brasil; <sup>3</sup>Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Ilhéus, Bahia, Brasil; <sup>4</sup>Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, Bahia, Brasil; <sup>5</sup>USDA / ARS Maryland, EUA.

O índice de qualidade do solo (IQS) constitui uma ferramenta para agregação e simplificação de informações de natureza diversa para “quantificar” a qualidade edáfica. O presente estudo teve como objetivo avaliar os índices de qualidade do solo, utilizando a metodologia proposta por Karlen e Stott (1994), em sistemas de cacau cabruca, mata e policultivo, comparando a qualidade do solo com o sistema de uso do solo e correlacionando-a com os atributos da cobertura arbórea nas cabrucas, em dois imóveis rurais dos municípios de Ilhéus e Arataca, na região sul da Bahia. As amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0-10, 10-30 e 30-50 cm, para realização de análises físicas e químicas. Os índices de qualidade encontrados mostraram que houve uma variação decrescente de Cabruca 1 > Cabruca 2 = Policultivo > Mata; que de maneira geral, os solos avaliados apresentam baixos níveis de fertilidade e caráter distrófico, e que a metodologia aplicada mostrou-se adequada para o estudo da qualidade do solo como base para decisões relacionadas às melhorias edáficas.

**Palavras-chave:** Mata Atlântica, propriedades do solo, indicadores de qualidade, cobertura arbórea.

**Evaluation of soil quality in areas of cocoa cabruca, forest and multicropping in Southern Bahia, Brazil.** The soil, in general, seems to be one of the beneficiary components from this agricultural system. The soil quality index (SQI) is a tool for aggregation and simplification of various kinds of information for quantifying the edaphological quality. This study aimed to evaluate the indices of soil quality, using the methodology proposed by Karlen and Stott (1994), in systems of cacao-cabruca, forest and multicropping, comparing the soil quality with the land use and correlating it with tree attributes in cabrucas, in two rural properties in the cities of Ilheus and Arataca, southern Bahia, Brazil. Soil samples were collected at 0-10, 10-30 and 30-50 cm, to perform physical and chemical analysis. The soil quality indexes showed a variation descending of Cabruca 1 > Cabruca 2 = Intercropping > Forest; in general, the soils had low levels of fertility and dystrophic character; and that the methodology proved to be adequate for the study of soil quality as a basis for decisions related to improvements in the soil.

**Key words:** Atlantic rain forest, soil properties, indicators of quality, stand of tree cover.

## Introdução

A Mata Atlântica é considerada um dos mais ricos conjuntos de ecossistemas em termos de diversidade biológica do Planeta. A Mata Atlântica do Sul da Bahia constitui-se em um dos mais importantes centros de biodiversidade e endemismo de todo o bioma. A região sul da Bahia possui um modelo agrossilvicultural sustentável chamado cacau cabruca que tem permitido a conservação de remanescentes florestais da Mata Atlântica, conservando indivíduos arbóreos de elevada significância econômica, social e ecológica (Lobão et al., 1997). Neste sistema, um dos principais produtos econômicos da região, o cacau, pode ser identificado como uma atividade econômica de grande potencial para a manutenção dos fragmentos e ampliação da conectividade, uma vez que é cultivado em sistema agroflorestal denominado cabruca.

O cenário “pós-revolução verde” passou a exigir, em âmbito mundial, a busca de parâmetros capazes de demonstrar se um agroecossistema está sendo perturbado ou que não é sustentável do ponto de vista ambiental e econômico (Derpsch, 2000). Dessa forma, a qualidade do solo influencia o potencial de uso, a produtividade e a sustentabilidade global do agroecossistema, sendo seu estudo necessário para fornecer informações sobre o manejo do solo e assegurar a tomada de decisões para uma melhor utilização desse recurso (Sposito e Zabel, 2003).

O conceito de qualidade do solo surgiu no final da década de 70 e durante os 10 anos seguintes esteve muito associado ao conceito de fertilidade (Karlen e Stott, 1994). Entretanto, a percepção evoluiu principalmente nos últimos 10 anos, e, num entendimento mais amplo, percebe-se que não basta apenas o solo apresentar alta fertilidade química, mas, também, possuir boas características físicas e abrigar uma alta diversidade de organismos (Sposito e Zabel, 2003).

Segundo Karlen e Stott (1994) a definição mais aceita atualmente de qualidade do solo é uma avaliação sistêmica desse recurso, que permite compreender a capacidade de um determinado solo desenvolver múltiplas funções no ambiente, mantendo a sustentabilidade do ecossistema. O processo de avaliação necessariamente envolve a seleção de indicadores, os quais são atributos e ou propriedades pedogenéticas naturais que podem ser utilizados para avaliar o comportamento de um solo específico.

Os indicadores formam um conjunto de dados mínimos que são utilizados para avaliar o comportamento das funções principais do solo, associadas com cada objetivo de utilização. O mesmo indicador pode ser incluído em diferentes funções e até mesmo ponderado com valores diferentes, quando utilizado em mais de uma função, dependendo da sua relação ou importância (Karlen e Stott, 1994).

Alguns autores têm proposto que a partir da definição das funções e atributos relacionados à qualidade do solo, possa-se realizar a avaliação global de um conjunto de indicadores de qualidade (Chaer, 2001; Doran e Parkin, 1994). Estes indicadores estão relacionados a atributos do solo, sendo que a soma do efeito dos atributos selecionados, que são determinantes da qualidade do solo naquele ambiente, é expressa em um índice de qualidade (Burger e Kelting, 1999), onde a cada atributo é associado um peso, ou pontuação (Karlen e Stott, 1994; Glover et al., 2000).

O modelo de avaliação do índice de qualidade do solo proposto por Karlen e Stott (1994) é aditivo e utiliza uma série de funções principais do solo, às quais são atribuídos pesos numéricos para cada função na composição do índice geral de qualidade.

No Brasil, dois trabalhos iniciais, Chaer (2001) e Souza et al. (2003), aplicaram o método de Karlen e Stott (1994). Chaer (2001) modificou o IQS para avaliar o efeito de diferentes manejos na cultura do eucalipto sobre a qualidade do solo e verificaram mudanças no solo decorrentes dos sistemas de manejo e seus efeitos na qualidade do mesmo para produção de floresta cultivada, podendo-se afirmar que os índices mais elevados realmente correspondem aos solos com melhor qualidade. Souza et al. (2003) avaliaram em três diferentes classes de solos, representativas dos Tabuleiros Costeiros, cultivados com citros e concluíram que a metodologia utilizada mostrou-se adequada para avaliar a qualidade do solo e ajudar na escolha de sistemas de manejo do solo para as culturas.

Uma moderna concepção de qualidade de solo deve ser coerente com as particularidades inerentes a cada ecossistema. Deve considerar, por exemplo, que o principal problema nos solos tropicais é a degradação do solo e a carência de nutrientes, enquanto, nos solos temperados, a contaminação química costuma ser a maior preocupação. Essa abordagem diferenciada é essencial para que se encontrem soluções que

efetivamente contribuam para o desenvolvimento de manejos sustentáveis do solo. Além disso, a difusão do conceito, tanto entre pesquisadores como entre agricultores, é um fator importante para o desenvolvimento de aspectos culturais voltados à agricultura (Zilli et al., 2003).

Até que estes estudos estivessem mais consolidados, grande parte das avaliações analisava as propriedades do solo de forma segmentada. Incluem-se neste contexto, os estudos de solo no sul da Bahia onde, especialmente, o cacau cabruca se desenvolveu e se revelou como um sistema agrícola conservacionista que pode causar menores impactos ambientais.

No presente trabalho, objetivou-se avaliar os índices de qualidade do solo, utilizando a metodologia proposta por Karlen e Stott (1994), em dois sistemas de cacau cabruca, mata e policultivo, comparando-a com o sistema de uso do solo e correlacionando com os atributos da cobertura arbórea nas cabruças.

## Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido com solos coletados em duas propriedades agrícolas localizadas nos municípios de Ilhéus e Arataca, na Região Cacaueira do estado da Bahia, que está inserida no corredor central da Mata Atlântica, um dos principais centros de endemismo do bioma, cuja formação vegetal primária dominante era de floresta tropical úmida costeira, classificada por Veloso et al. (1991) como floresta ombrófila densa, pertencente à zona neotropical.

O clima na região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Af, floresta tropical quente e úmida sem estação seca, com precipitação superior a 1.300 mm por ano, temperatura média de 23°C e umidade relativa de 80%.

No Município de Ilhéus foi selecionada uma área do Projeto de Assentamento (P. A.) Frei Vantui. O P. A. tem uma área de 476 ha, situada nas coordenadas 14°48'09" S e 39°07'54 W, à margem da Rodovia BR-415, a 10 km de Ilhéus, Bahia. O assentamento possui 39 famílias, que vêm trabalhando no sistema agroecológico, desde o início do assentamento, em áreas individuais e coletivas. É cultivado com 200 ha de cacau em sistema cabruca, em sua maioria, e uma área menor com sombreamento de eritrina e seringueira, além de

cultivos anuais e pastagens. O solo predominante na área corresponde ao Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (Typic Hapludult), A moderado epieutrófico, textura média argilosa, fase floresta tropical perenifólia, relevo ondulado e forte ondulado, conforme classificação feita neste estudo (Embrapa, 2006). Nesta propriedade foram escolhidas três áreas para estudo do solo, representadas por mata (M), policultivo (Po) e cabruca (C1), localizadas em uma mesma faixa de relevo e solo.

As informações sobre o histórico de manejo da área foram obtidas por meio de entrevistas com o proprietário da área no assentamento. A área de mata está em um processo de regeneração avançada, estando atualmente classificada como uma mata secundária, embora tenha sofrido ações antrópicas, nos últimos 30 anos, como a retirada de algumas árvores para utilização da madeira.

A área de policultivo anual caracteriza-se por estar, nos últimos 10 anos, sendo cultivada com culturas de ciclo curto como feijão, mandioca, quiabo, batata-doce, milho e banana, em alguns locais. O sistema de plantio é de corte e queima e utilização da enxada no manejo do mato. A última queima da área foi há 5 anos.

Na área de cacau cabruca foi realizada correção do solo com aplicação de calcário há dois anos, dois meses depois aplicação de fosfato (Fosbahia) e da farinha de rocha MB-4 no cacaueiro. O produtor não tem controle preciso das formulações e quantidades aplicadas. Dos tratamentos culturais recomendados pelos órgãos de extensão da região, faz-se apenas uma roçagem anual e as colheitas.

A segunda área de cacau cabruca (C2) localiza-se no município de Arataca, Bahia, na Fazenda Hiawatha, situada na coordenada 15°17'38.9" S e 38°28'14.1" W. A Fazenda possui uma área cultivada com cacau em sua grande maioria no sistema cabruca, seringueira e pastagem com criação de bovinos. O solo predominante na área é Cambissolo Háplico Distrófico típico (Typic dystropept).

As informações sobre o histórico de manejo da área foram obtidas em entrevistas com o gerente da propriedade. O manejo utilizado nesta área tem sido a limpeza de copa e roçagem duas vezes no ano. A correção e a fertilização do solo na área não são realizadas há mais de 10 anos.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, dispostos perpendicularmente ao declive do

terreno, com três repetições, de forma que, em cada uma das áreas de estudo, foram marcadas três parcelas de 50x25 m, para coleta dos solos. Em cada parcela foram abertas oito micro-trincheiras de forma aleatória, com a dimensão de 50x50x50 cm, e realizadas as coletas em três profundidades do solo: 0-10 cm (P1), 10-30 cm (P2) e 30-50 cm (P3).

Na avaliação da qualidade de solo foi utilizado o modelo de índice de qualidade de solo proposto por Karlen e Stott (1994), com modificações e indicadores escolhidos de acordo com os objetivos da avaliação, para refletir mais apropriadamente a quantificação do IQS nas áreas da C1 e C2, nas três profundidades de P1, P2 e P3.

Para análises químicas e físicas foram utilizadas amostras deformadas em forma de terra fina seca ao ar (TFSA), exceto para determinação da densidade do solo, para a qual se utilizou amostra indeformada, coletada com anel de Kopeck. Em cada parcela foram abertas oito micro-trincheiras de forma aleatória, com a dimensão de 50x50x50 cm, e realizadas as coletas em três profundidades do solo: 0-10 cm (P1), 10-30 cm (P2) e 30-50 cm (P3). Para as amostras de solo deformado, cada parcela foi representada pela mistura em campo destas oito amostras simples, e retirada apenas uma amostra composta de cada profundidade. Para determinação da densidade de solo foram coletadas três amostras compostas de seis simples de cada profundidade por parcela, para obtenção e adoção do valor médio.

As análises químicas e físicas foram realizadas no Laboratório de Solos do Centro de Pesquisas do Cacau (CEPEC), onde foram analisadas na análise física densidade do solo ( $D_s$ ), densidade de partículas ( $D_p$ ), porosidade total estimada ( $P_t$ ), areia grossa, areia fina, argila total, silte e equivalente de umidade (Eq.Um.).

Todas as análises foram realizadas de acordo com métodos analíticos descritos em EMBRAPA (1997). A granulometria foi determinada a partir da dispersão de 10 g de TFSA com 50 ml de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> e agitação a 10.000 rpm, durante 15 minutos. As frações areia grossa e fina foram separadas em peneiras com malhas de 0,2 mm e 0,053 mm de abertura, respectivamente. A fração argila foi determinada pelo método da pipeta, e a fração silte calculada por diferença; densidade do solo ( $D_s$ ) determinada pelo método do anel volumétrico; densidade de partículas ( $D_p$ ) foi determinada em 20 g de TFSA em balões de

50 ml, utilizando-se álcool etílico como líquido penetrante. A porosidade total foi estimada pela fórmula  $(100 (D_p - D_s) / D_p)$ .

As análises químicas, os elementos determinados foram: carbono, nitrogênio, pH em água, hidrogênio mais alumínio, alumínio, potássio, cálcio, magnésio, fósforo.

Os elementos foram determinados de acordo com métodos analíticos descritos em EMBRAPA (1997): pH em água; cálcio e magnésio trocáveis - extração com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, na proporção 1:20 e determinação por espectrofotometria de absorção atômica; acidez trocável - extração com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, na proporção 1:20 e determinação por titulação com NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup>; acidez potencial (H + Al) - extração com acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> tamponado a pH 7,0, na proporção 1:15 e determinação por titulação com NaOH 0,0606 mol L<sup>-1</sup>; potássio trocável - extração com solução de HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 mol L<sup>-1</sup> (Mehlich) e determinação por fotometria de emissão de chama; fósforo disponível - extração com solução de HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 mol L<sup>-1</sup> (Mehlich<sup>-1</sup>) e determinação por colorimetria, utilizando-se ácido ascórbico como agente redutor.

O carbono orgânico total (CO<sub>T</sub>) foi determinado pelo método de Yeomans e Bremner (1988), baseado em técnicas de oxidação com dicromato de potássio com aquecimento externo da amostra.

A qualidade do solo foi avaliada considerando quatro funções do solo e atribuídas ponderações de 0,25. Os indicadores de cada função e o peso específico atribuído a eles foram ajustados para o limite crítico do indicador e estão descritos na Tabela 1, selecionados em função da sua importância para o funcionamento e sustentabilidade edáfica, com base nas condições naturais dos solos de mata, que suportam a vegetação nativa e evoluem para um estado de equilíbrio do ambiente.

Os valores determinados para cada indicador são transformados em escores que variam de 0 a 1, por meio das funções de pontuação padronizada que foram definidas ou personalizadas para cada indicador, conforme apresentado a seguir: (1) mais é melhor, indicada para padronizar escores para propriedades do solo em que a qualidade do solo está associada a maiores valores das mesmas; (2) menos é melhor, utilizada para propriedades do solo em que a qualidade do solo está

associada a menores valores das mesmas; e (3) valor ótimo, utilizada para propriedades do solo que tem um efeito positivo crescente na qualidade do solo até um valor ótimo, a partir do qual sua influência é negativa.

A forma das curvas (Figura 1) é gerada da equação de pontuação e determinada pelos valores críticos que incluem os valores limites. Os valores da linha-base são as propriedades do solo onde a função de pontuação é igual a 0,5 e equivale aos pontos médios entre os valores-limites da propriedade do solo considerada. A inclinação da curva de pontuação na linha-base pode ser determinada usando funções otimizadas mediante planilhas eletrônicas (Glover et al., 2000).

Os valores dos parâmetros usados para a construção das funções de pontuação para cada indicador analisado (Tabela 2), com o tipo de curva, os limites críticos superiores e inferiores, o valor ótimo e a declividade das curvas que foram ajustadas para as características do solo de mata tropical, utilizadas como indicadores na definição do IQS das profundidades P1, P2 e P3, considerando para a P1 condições do horizonte A e para P2 e P3 condições do horizonte B, com base nas literaturas da Comissão Estadual de Fertilidade do Solo para recomendação de correção e adubação para o estado da Bahia (1980), da Comissão de Fertilizantes do Solo para o Estado de Minas Gerais para

Tabela 1. Funções principais e indicadores físicos, químicos e biológicos para avaliar a qualidade do solo

Funções	Peso (A)	Indicador 1°	Peso (B1)	Indicador 2°	Peso (B2)
Receber, armazenar e suprir água (RASA)	0,25	Densidade do solo	0,2		
		Matéria orgânica	0,3		
		Argila	0,3		
		Equivalente de umidade	0,1		
		Porosidade Total	0,1		
Promover crescimento das raízes (PCR)	0,25	Densidade do solo	0,25		
		Matéria orgânica	0,25		
		Acidez /Toxidez de Al <sup>3+</sup>	0,25	pH	0,33
				H+Al	0,33
				Al <sup>3+</sup>	0,33
		Nutrientes minerais	0,25	P	0,4
				K <sup>+</sup>	0,1
		Ca <sup>2+</sup>	0,4		
		Mg <sup>2+</sup>	0,1		
Armazenar suprir e ciclar nutrientes (ASCN)	0,25	Matéria orgânica	0,25		
		CTC pH 7,0	0,25		
		Nutrientes minerais	0,4	P	0,3
				K <sup>+</sup>	0,2
		Ca <sup>2+</sup>	0,3		
		Mg <sup>2+</sup>	0,2		
		Saturação por Al <sup>3+</sup>	0,1		
Promover atividade biológica (PAB)	0,25	pH	0,25		
		Nutrientes minerais	0,25	P	0,3
				K <sup>+</sup>	0,2
				Ca <sup>2+</sup>	0,3
		Mg <sup>2+</sup>	0,2		
		Matéria orgânica	0,5		



Figura 1. Tipos de funções de padronização de escores utilizadas para cálculo de índice de qualidade do solo (Karlen e Stott, 1994).

Tabela 2. Parâmetros das funções de pontuação dos indicadores de qualidade do solo da área de Mata, Cabruca e Policultivo

Indicador	Tipo de curva	Valores iniciais	Horizontes	Limites críticos		Valores ótimos	Inclinação da tangente da curva
				Inferior	Superior		
Ds (g cm <sup>-3</sup> )	Menos é melhor	0	A / B	1,1			-1,6683
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	Valor Ótimo	0	A / B	300	600	500	0,1251
Sat. por Al <sup>3+</sup> (%)	Menos é melhor	0	A / B	30			-0,0626
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Menos é melhor	0	A / B	0,5			-5,0050
Eq. Umid. (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	Mais é melhor	0	A / B	0,20			0,0834
Pt (%)	Mais é melhor	0	A / B	60			1,1375
pH	Valor Ótimo	0	A	5	9	7	0,5005
		0	B	4	9	6,5	0,5561
P (mg dm <sup>-3</sup> )	Mais é melhor	0	A	10			0,1251
		0	B	2,5			0,1726
CTC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Mais é melhor	0	A/B	4,5			0,5005
K (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Mais é melhor	0	A	0,40			0,0278
		0	B	0,25			0,0391
Ca (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Mais é melhor	0	A	2			0,5005
		0	B	1			0,5005
Mg (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Mais é melhor	0	A	0,5			0,5005
		0	B	0,1			0,5005
H+Al (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Menos é melhor	0	A	4			-0,6256
		0	B	2			-0,5005
MO (%)	Mais é melhor	0,1	A/B	2			1,7875

recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (1989) e da CEPLAC em Normas para a utilização de fertilizantes e corretivos na região cacaueteira (1978).

Faz-se necessária a padronização dos valores observados para os indicadores selecionados, para escores variando de 0 a 1, em razão das diferentes unidades de medição utilizadas para cada um deles. As curvas de definição de escores são geradas com base na equação matemática desenvolvido por Wymore (1993) citado por Glover (2000).

Para aplicar a equação de Wymore, utilizada para padronização dos escores, é necessário calcular a inclinação da tangente da curva de pontuação no valor crítico do indicador, expressado:

$$f(S) = \frac{\log\left(\frac{1}{x}\right) - 1}{\log\left(\frac{B-L}{x-L}\right) \cdot 2(B+x-2L)} \quad (\text{Eq.1})$$

E logo depois aplicar o modelo de equação de Wymore para calcular os valores observados dos indicadores em escores padronizados:

$$v = \frac{1}{1 + \left(\frac{B-L}{x-L}\right)^{2a(B+x-2L)}} \quad (\text{Eq.2})$$

onde  $v$  é o escore padronizado,  $B$  é o valor crítico do indicador, cujo escore padronizado é 0,5.  $L$  é o valor inicial,  $S$  é a declividade da tangente da curva no valor crítico do indicador e  $x$  é o valor do indicador observado ou medido.

Após padronização dos indicadores em escores, utilizando o modelo de Karlen e Stott (1994), Souza et al. (2003) propõem que a qualidade do solo ( $Q$ ) seja calculada em duas etapas, como segue:

$$q\text{ FPN} = I_1 \times W_1 + \dots + I_n \times W_n \quad (1^a \text{ etapa}) \quad (\text{Eq.3})$$

$$Q = q\text{ FPN}_1 \times (w_1) + q\text{ FPN}_2 \times (w_2) + \dots + q\text{ FPN}_n \times (w_n) \quad (2^a \text{ etapa}) \quad (\text{Eq.4})$$

onde,  $q\text{ (FPN)}$  são as funções principais estabelecidas,  $I_n$  são os escores padronizados para os indicadores de qualidade associados a cada função

principal,  $W_n$  são os ponderadores associados a cada indicador ou a cada função principal e  $Q$  é o índice de qualidade de solo.

Os escores encontrados de cada indicador foram multiplicados por um peso relativo à importância atribuída. O somatório do produto dos indicadores desta função constituiu no escore da função. Da mesma forma, para cada função, o peso atribuído foi multiplicado pelo escore encontrado da função que constituiu o sub-índice de performance da função do solo. A soma desses sub-índices originou o IQS. A soma dos ponderadores das funções principais e de todos os indicadores associados a uma única função, na metodologia proposta por Karlen e Stott (1994), exige que seja sempre igual a 1. Desse modo, o IQS apresentará valores compreendidos entre 0 e 1.

Portanto, quando um solo preencher todas as funções consideradas importantes o resultado do IQS será 1 ao contrário, quando o IQS é zero ou um valor próximo, indica limitações ou baixa qualidade do solo. Utilizamos uma graduação para o IQS baseado em Souza (2003) que propõe para um IQS menor ou igual a 0,5 ruim, 0,51 a 0,7 regular e acima de 0,71 ótima.

No estudo fitossociológico das áreas caracterizadas como C1 e C2 foram avaliadas as 3 parcelas de 1.250 m<sup>2</sup> (25x50 m), totalizando uma área de 3.750 m<sup>2</sup> em cada cabruca. Sendo as mesmas parcelas onde houve a coleta do solo. Os atributos da cobertura vegetal do dossel superior a serem avaliados e correlacionados com o índice de qualidade do solo nas cabrucas, foram representados pelos dados da vegetação arbórea com diâmetro à altura do peito (DAP)  $\leq 15,0$  cm, a 1,30 m do solo. Estas foram mensuradas e identificadas, e realizada a classificação das espécies.

Foram utilizadas planilhas eletrônicas totalmente associadas do software Excel (versão 2007) para a realização do cálculo dos IQS e respectivas análises estatísticas.

Os IQS foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Para identificar variações nos índices de qualidade do solo, em função do sistema de uso, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância, comparando-se as parcelas Cabruca1 x Mata x Policultivo, Cabruca1 x Cabruca2, Cabruca1 x Mata x Cabruca2 x Policultivo, nas profundidades P1, P2 e P3 e na média das três profundidades.

## Resultados e Discussão

### Avaliação da qualidade do solo no Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico nas três áreas do PA Frei Vantui: Cabruca X Mata X Policultivo

Os resultados obtidos para as três parcelas do PA Frei Vantui, a Cabruca 1, a Mata e o Policultivo, instalado em um Argissolo Vermelho-Amarelo, apresentaram na profundidade 1 (0-10 cm) valores de IQS que diferiram, na seguinte ordem decrescente: Cabruca 1(C1) = Policultivo (Po) > Mata (M).

Os solos de mata tem pouca intervenção, boa cobertura vegetal, bem como à presença de serrapilheira, que favoreça fauna do solo, que passam toda ou parte de suas vidas no solo, e em muitas situações tem efeito significativo na estrutura e nas propriedades funcionais do solo (Hendrix, 1999). No entanto verificou-se que a parcela de Mata apresentou o menor valor de IQS, em todas as funções e todas as profundidades em relação a Cabruca e ao Policultivo.

As funções Armazenar, Suprir e Ciclar Nutriente (ASCN) e Promover Atividade Biológica (PAB) apresentaram na profundidade 1 um valor de IQS da Cabruca e do policultivo acima de 0,7 e isto sugere um bom IQS e difere da Mata que apresentou um IQS considerado regular (entre 0,50 e 0,70), podendo-se pressupor que os solos na área de Cabruca e Policultivo sofreram influência do manejo recebido pela cultura implantada.

Os solos da Mata na profundidade 1 apresentaram na função ASCN e PAB um índice de 50% acima dos índices da profundidade 2 e 3, o que indica uma maior concentração de MOS na P1, já que o peso maior das funções ASCN e PAB é a MOS com 0,5 de peso. E pode ser explicada pelo acúmulo de resíduos vegetais na superfície, da matéria orgânica biodegradável e de carbono orgânico do solo, pois ao longo do tempo os métodos de manejo ou uso do solo interferem tanto na quantidade como na distribuição da MO no perfil do solo. Isso coincide com resultados encontrados por Geraldés et al. (1995), em solos tropicais da Amazônia, como também está de acordo com Houghton et al. (1991), para os quais ocorre o declínio no estoque de MOS após conversão de florestas nativas em sistemas agrícolas.

### Avaliação da qualidade do solo entre a Cabruca 1 (Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico) no PA Frei Vantui e a Cabruca 2 (Cambissolo Háplico Distrófico) na Fazenda Hiawatha

Os resultados obtidos para as duas áreas de Cabruca (Tabela 3 e Tabela 4) mostraram que todos os índices de qualidade encontrados na profundidade 1 foram acima de 0,50 e na profundidade 2 e 3 foram menores do que 0,5, na seguinte ordem decrescente: Profundidade 1: C1 (0,6859) > C2 (0,5847); Profundidade 2: C1 (0,3562) > C2 (0,3560) e profundidade 3 C1 (0,3676) > C2 (0,3285). Portanto, a C1 foi a que apresentou maior IQS, o que não era a expectativa inicial em função das avaliações visuais prévias, como cobertura arbórea, estado vegetativo e nutricional dos cacauzeiros e ervas indicadoras de aspectos físicos e químicos do solo como o cansaço (*Cnidioscolus urens*) característico de solo bom para cultivo de cacau ou samambaia (*Pteridium aquilinum*), Rabo-de-raposa (*Conyza bonariensis*), vassourinha (*Sida acuta*) característicos de solos ácidos, compactados e pobres em matéria orgânica.

Na Tabela 3 verifica-se nas funções PCR, ASCN e PAB que a C2 apresentou valores de IQS menores do que a C1. E que as funções que mais se destacaram na C1 nas três profundidades foram a ASCN e PAB. Considerando que os Nutrientes Minerais e a MOS tem um peso maior nestas funções (Tabela 1) as quantidades encontradas disponíveis no sistema foi fator preponderante para as diferenças verificadas nas cabruças.

### Avaliação da qualidade do solo na Cabruca 1 x Cabruca 2 x Mata x Policultivo

Os valores encontrados do IQS apresentaram diferenças na profundidade P1 (0-10 cm) comparados com os IQS das profundidades de P2 (10-30 cm) e P3 (30-50 cm) (Tabela 4). Comparando-se os IQS por profundidade observa-se que houve uma mudança muito abrupta entre a P1 e as demais profundidades (P2 e P3). Fato que se repetiu na Cabruca 1 e na Cabruca 2 com uma diferença menor.

Houve diferença significativa no valor do IQS, entre as áreas avaliadas em cada profundidade. A Mata teve o menor valor de IQS, abaixo do limite crítico de 0,5,

Tabela 3. Valor do IQS das funções principais nas áreas de Cabruca 1, Cabruca 2, Mata e Policultivo nas profundidades P1, P2 e P3

Profundidade 1 - 0-10 cm								
Funções	C1		M		Po		C2	
RASA	0,5179	19	0,4186	22	0,4622	17	0,7408	32
PCR	0,6365	23	0,4114	22	0,6461	24	0,4050	17
ASCN	0,8091	30	0,5441	28	0,7562	29	0,5904	25
PAB	0,7799	28	0,5343	28	0,7863	30	0,6026	26
<b>IQS</b>	<b>0,6859</b>	<b>a</b>	<b>0,4771</b>	<b>c</b>	<b>0,6627</b>	<b>ab</b>	<b>0,5847</b>	<b>B</b>
Profundidade 2 - 10-30 cm								
Funções	C1		M		Po		C2	
RASA	0,2888	20	0,1214	16	0,2755	24	0,5599	40
PCR	0,2661	19	0,1559	21	0,2241	19	0,2292	16
ASCN	0,5201	36	0,2322	32	0,3894	33	0,3461	24
PAB	0,3498	25	0,2253	31	0,2799	24	0,2888	20
<b>IQS</b>	<b>0,3562</b>	<b>a</b>	<b>0,1837</b>	<b>b</b>	<b>0,2922</b>	<b>a</b>	<b>0,3560</b>	<b>A</b>
Profundidade 2 - 10-30 cm								
Funções	C1		M		Po		C2	
RASA	0,3986	27	0,2982	33	0,3668	32	0,5440	41
PCR	0,2773	19	0,1353	15	0,1690	15	0,2181	17
ASCN	0,4547	31	0,2513	28	0,3351	30	0,3060	23
PAB	0,3397	23	0,2205	24	0,2630	23	0,2461	19
<b>IQS</b>	<b>0,3676</b>	<b>a</b>	<b>0,2639</b>	<b>b</b>	<b>0,2834</b>	<b>ab</b>	<b>0,3285</b>	<b>ab</b>

RASA = Receber, armazenar e suprir água, PCR=Promover o Crescimento das Raízes,ASCN=Armazenar suprir e ciclar nutrientes, PAB= Promover atividade biológica

Letras iguais, na mesma linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 4. Índice de Qualidade do Solo das áreas de Cabruca 1, Cabruca 2, Mata e Policultivo, nas três profundidades (P) P1, P2 e P3

Profundidade	Áreas							
	C1		M		Po		C2	
P1 (0 - 10 cm)	0,6859	a	0,4771	c	0,6627	ab	0,5847	b
P2 (0 - 10 cm)	0,3562	a	0,1837	b	0,2922	a	0,356	a
P3 (0 - 10 cm)	0,3676	a	0,2639	b	0,2834	ab	0,3285	ab

Letras iguais, na mesma linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

sendo considerado baixo IQS em todas as profundidades e diferindo estatisticamente P1 e P2, mas diferindo apenas de C1 na P3.

Os solos de C2, C1, Po, apresentaram na P1 valores de IQS entre 0,58 e 0,69, o que é considerado um valor regular. Quando se compara os IQS de cada área analisada (Cabruca 1, Cabruca 2, Mata e Policultivo) nas profundidades P2 e P3, visualiza que os valores de IQS estão todos abaixo de 0,5, sendo considerados

baixo. Em nenhuma profundidade obteve-se um valor de IQS acima de 0,8, o que seria considerado bom.

A partir daí é importante a análise das funções e dos indicadores da função que provocaram estas alterações no perfil do solo (Tabela 3).

Na C1 e no Po a função armazenar, suprir e ciclar nutrientes (ASCN) o valor do IQS foi o mais elevado em relação às outras funções e em relação às outras áreas em estudo nas três profundidades.

Na Tabela 3 observa-se que o menor valor de IQS foi o da Mata na P2, resultado dos baixos índices das funções RASA e PCR. De forma geral, este baixo valor de IQS encontrado nas áreas, indica a precária fertilidade química do solo em todas as áreas amostradas.

Os solos avaliados, mostraram-se relativamente homogêneos quanto ao índice de qualidade de solo (IQS). Em todos os sistemas de uso do solo o IQS foi abaixo de 0,5, refletindo baixa fertilidade e limitações físicas, conferindo para estes solos baixa condição natural para produção vegetal. Estes resultados estão de acordo com Primavesi (1980) e Alvim (2002) em relação aos solos tropicais de região úmida, sob condições predominantemente ácidos e pobres em reserva de minerais.

### Avaliação da influência da cobertura arbórea da cabruca na qualidade do solo

Na cabruca 1 (PA Frei Vantui), na área das três parcelas (3750 m<sup>2</sup>), foram encontrados 33 indivíduos, pertencentes a 12 espécies e 10 famílias (Tabela 5). A espécie que apresentou maior DAP (365 cm) foi o *Ficus gomelleira*. A maior frequência (21%) foi da espécie *Artorcarpus heterophyllus* e *Spondias lútea*. A família Moraceae apresentou o maior número de indivíduos (12), e o maior número de espécies (2). Foram incluídos na contagem cinco indivíduos na forma de hemiepífita, pertencentes à espécie *Ficus gomelleira*.

Nas três parcelas (3750 m<sup>2</sup>) da cabruca 2 (Fazenda Hiawatha), encontrou-se um total de 33 indivíduos,

Tabela 5. Cobertura vegetal arbórea na Cabruca 1 (PA Frei Vantui) e na Cabruca 2 (Fazenda Hiawatha)

Área	Família	Nome Popular	Nome Científico	%	Quant.	Média dap/cm
Cabruca 1	Annonaceae	Jangada-Preta	<i>Rollinia laurifolia</i>	12	4	94
	Anacardiaceae	Cajá	<i>Spondias lutea</i>	21	7	97
	Araliaceae	Matatauba	<i>Schefflera morototoni</i>	6	2	72
	Bignoniaceae	Pau D'arco	<i>Tabebuia sp.</i>	3	1	117
	Lecythidaceae	Sapucaia	<i>Lecythis pisonis</i>	3	1	264
	Leg.Caesalpinoideae	Cobi	<i>Senna multijuga</i>	3	1	54
	Leg.Caesalpinoideae	Pinho	<i>Schizolobium parahyba</i>	3	1	192
	Meliaceae	Cedro	<i>Cedrela fissilis</i>	3	1	90
	Moraceae	Gameleira	<i>Ficus gomelleira</i>	15	5	365
	Moraceae	Jaqueira	<i>Artorcarpus heterophyllus</i>	21	7	115
Rubiaceae	Jenipapo	<i>Genipa americana</i>	3	1	117	
Simaroubaceae	Pau Parafba de espinho	<i>Simarouba versicolor</i>	6	2	28	
	<b>10 famílias</b>	<b>12 espécies</b>			<b>33</b>	<b>134</b>
Cabruca 2	Anacardiaceae	Aderno	<i>Myracrodruon urundeuva</i>	3	1	389
	Caricaceae	Mamão-de-Veado	<i>Jacaratia heptaphylla</i>	3	1	175
	Elaeocarpaceae	Gindiba	<i>Sloanea obtusifolia</i>	3	1	435
	Euphorbiaceae	Seringa	<i>Hevea brasiliensis</i>	3	1	80
	Lauraceae	Abacate	<i>Persea americana</i>	3	1	42
	Lecythidaceae	Sapucaia	<i>Lecythis pisonis</i>	6	2	292
	Leg.Caesalpinoideae	Pau Brasil	<i>Caesalpinia echinata</i>	18	6	164
	Leg.Caesalpinoideae	Óleo Comumba	<i>Macrolobium latifolium</i>	3	1	222
	Leg. Mimosoideae	Vinhático	<i>plathymenia faliosa</i>	12	4	202
	Leg. Mimosoideae	Ingá	<i>Inga sp.</i>	3	1	40
	Leguminosae-Papilionoideae	Pau Sangue	<i>Pterocarpus rhorii</i>	12	4	218
	Leguminosae-Papilionoideae	Jacarandá-da-Bahia	<i>Dalbergia nigra</i>	9	3	29
	Leguminosae-Papilionoideae	Putumuju	<i>Centrolobium robustum</i>	3	1	91
Meliaceae	Cedro	<i>Cedrela fissilis</i>	3	1	108	
Meliaceae	Jaqueira	<i>Arthorcarpus heterophyllus</i>	15	5	93	
	<b>10 famílias</b>	<b>15 espécies</b>			<b>33</b>	<b>172</b>

pertencentes a 15 espécies e 10 famílias. A espécie que apresentou maior DAP (435 cm) foi o *Sloanea obtusifolia*. A maior frequência (18%) foi da espécie *Caesalpinia echinata*. A família Leguminosae apresentou o maior número de indivíduos (20), e o maior número de espécies (7).

Observa-se que as áreas de cabruca apresentaram um menor número de espécies comparadas com áreas de floresta nativa. E ocorre invasão de espécies pioneiras, secundárias e exóticas. Entre as 27 espécies encontradas, 20 são naturais das florestas primárias da região. Algumas espécies, porém, apresentam indivíduos jovens, mostrando que conseguem se reproduzir na cabruca.

Do total das espécies observadas, apenas três, o cedro (*Cedrella fissilis*), a sapucaia (*Lecythis pisonis*) e a jaqueira (*Artocarpus heterophyllus*) apresentaram ocorrência comum às duas áreas.

Dentre todas as espécies observadas, evidenciam-se *Caesalpinia echinata* (pau-brasil), *Ficus gomelleira* (gameleira) e *Artocarpus heterophyllus* (jaqueira). Pau-brasil é a espécie mais importante, não só pelo valor cultural-econômico, mas também por estar listada pelo IBAMA (1992), como uma espécie em extinção.

A *F. gomelleira* apresentou boa distribuição e, normalmente, os levantamentos feitos na região detectam suas ocorrências, tais como os de Alvim (1966), Vinhas e Silva (1982), entre outros. Sambuichi (2002) observou que as espécies acima citadas encontravam-se entre as quatro mais abundantes em uma área de cacau-cabruca no Município de Ilhéus, BA.

Os resultados obtidos para a diversidade são compatíveis aos obtidos em outras áreas e chegam a ser comparáveis às áreas consideradas ricas em diversidade de espécies. Entre elas, podem ser citados os resultados obtidos por Sambuichi (2002) da diversidade de espécies em uma área de cacau-cabruca em Ilhéus, BA.

Relacionando estes estudos com os dados encontrados entre C1 e C2 observa-se que a C2 apresentou uma maior quantidade de espécies, maior média do DAP (172 cm), maior quantidade de espécies de valor econômico, sua aparência é de uma área que mais se assemelha a uma floresta natural, entretanto ela tem um IQS menor em relação a C2 na profundidade 1, que é a que mais é influenciada pelo folheto das árvores (Tabela 6).

Tabela 6. Resumo dos valores de IQS, Nº de árvores, espécies, famílias e média dos DAP da Cabruca 1 e Cabruca 2

Cabruca	Nº de árvores	Nº de espécies	Nº de famílias	Média DAP	IQS profundidade 1
C1	33	13	10	1,23	0,6859
C2	33	15	10	1,72	0,5847

## Conclusões

A avaliação realizada nas quatro áreas com diferentes coberturas mostrou que:

- Os índices de qualidade do solo encontrados apresentaram uma variação na ordem decrescente Cabruca 1 > Policultivo = Cabruca 2 > Mata;
- De maneira geral, os solos avaliados apresentam baixos níveis de fertilidade e caráter distrófico;
- O modelo de IQS se mostrou eficiente, para avaliar o solo sob diferentes condições e coberturas.

## Literatura Citada

- ALVIM, P. de T. 1966. O problema do sombreamento do cacauero. *Cacau Atualidades (Brasil)* 3(2): 2-5.
- ALVIM, P. de T. 2002. Solos nos trópicos úmidos e sua utilização. In: Araujo, Q. R. 500 anos de uso do solo no Brasil. Ilhéus, BA, Editus. pp.291-310.
- BURGUER, J. A.; KELTING, D. L. 1999. Using soil quality indicators to assess forest stand management. *Forest Ecology and Management* 122:155-166.
- COMISSÃO EXECUTIVA DO PLANO DA LAVOURA CACAUEIRA. CENTRO DE PESQUISA DO CACAU. SETOR DE FERTILIDADE. 1978. Normas para utilização fertilizantes e corretivos na região cacaueira da Bahia. Ilhéus, BA, CEPLAC/CEPEC. 74p.
- CHAER, G. M. 2001. Modelo para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos. Dissertação Mestrado. Viçosa, MG, UFV. 89p.

- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS – CFSEMIG, 1989. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 4ª aproximação. Lavras.
- DERPSCH, R. 2000. Expansão mundial do plantio direto. *Revista Plantio Direto (Brasil)* 59(1):32-40.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. 1994. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W. et al. eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Soil Science Society of America 35:3-22.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS 1997. Manual de métodos de análise do solo. Rio de Janeiro, RJ, EMBRAPA/CNPS. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. 2013. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3 ed. Brasília, DF, Embrapa. 353p.
- EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DA BAHIA .1980. Recomendações de adubação para o estado da Bahia - 1ª aproximação. Salvador, EMATERBA. Programas e Projetos nº 9. 89p.
- GERALDES, A. P. A.; CERRI, C. C.; FEIGL, B. J. 1995. Biomassa microbiana dos solos sob pastagens na Amazônia. *Revista Brasileira de Ciências do Solo* 19:55-60.
- GLOVER, J. D. et al. 2000. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. *Agriculture Ecosystems & Environmental* 80:29-45.
- HENDRIX, P. F. 1999. Soil fauna. In: Summer, M. E. ed. *Handbook of Soil Science*. Boca Raton, CRC Press. pp.229-276.
- HOUGHTON, R. A., SKOLE, D. L., LEFKOWITZ, D. S. 1991. Changes in the landscape of Latin America between 1850 and 1985. *Forest Ecology and Management* 38:173-199.
- IBAMA. 1992. Lista oficial de espécies da Flora Brasileira ameaçada de extinção. Sociedade Brasileira de Botânica. 175p.
- KARLEN, D. L.; STOTT, D. E. 1994. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: Doran, J. W. et al. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, Soil Science Society of American/ American Society of Agronomy.
- LOBÃO, D. et al. 1997. Cacau Cabruca: um modelo sustentável de agricultura tropical. *Indícios Veementes (Brasil)* 3(nº Esp.):10-24
- PRIMAVESI, A. 1980. Manejo Ecológico do Solo. Agricultura em regiões Tropicais. 3 ed. São Paulo, SP, Livraria Nobel. 541p.
- SAMBUICHI, R. H. R. 2002. Fitossociologia e diversidade de espécies arbóreas em cabruca (mata atlântica raleada sobre plantação de cacau) na Região Sul da Bahia, Brasil. *Acta Botânica Brasílica (Brasil)* 16(1):89-101.
- SOUZA, L. S. et al. 2003. 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, 29º. Ribeirão Preto, SP, UNESP, SBSCS. CD-ROM.
- SPOSITO, G.; ZABEL, A. 2003. The assessment of soil quality. *Geoderma* 114(3/4):143-144.
- VELOSO, H. P. et al. 1991. A classificação brasileira, adaptada a um sistema universal. Rio de Janeiro, RJ, IBGE. 123p.
- VINHA, S. G. DA; SILVA, L. A. M. 1982. Árvores aproveitadas como sombreadoras de cacauzeiros no sul da Bahia e norte do Espírito Santo. Ilhéus, BA, CEPLAC/CEPEC. 136p.
- YEOMANS, J. C., BREMNER, J. M. 1988. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 19(3):1467-1476.
- ZILLI, J. et al. 2003. Diversidade Microbiana como Indicador de Qualidade de Solo. *Cadernos de Ciência & Tecnologia (Brasil)* 20(3):391-411.