

Índice de Qualidade do Solo Químico para avaliação de um Latossolo Amarelo Distrófico sob plantação de açaizeiros no Nordeste do Pará, Brasil ⁽¹⁾

Vanessa Mayara Souza Pamplona ⁽²⁾; **Edson Marcos Leal Soares Ramos** ⁽³⁾; **Guilherme Amorim Homem de Abreu Loureiro** ⁽⁴⁾; **Quintino Reis de Araújo** ⁽⁵⁾; **Francisco Aldenir do Carmo Lúcio** ⁽⁶⁾.

⁽¹⁾ Parte da tese de mestrado do primeiro autor apresentada à Universidade Federal do Pará; ⁽²⁾ Estatística; Universidade Federal do Pará; Belém, Pará; Doutoranda em Agronomia; Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho; Jaboticabal, São Paulo; vanessasouza@ufpa.br; ⁽³⁾ Professor; Faculdade de Estatística da Universidade Federal do Pará; edson@ufpa.br ⁽⁴⁾ Mestrando em Produção Vegetal; Universidade Estadual de Santa Cruz; Ilhéus, Bahia; gahal.85@gmail.com; ⁽⁵⁾ Pesquisador; Centro de Pesquisas do Cacau / Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira; Itabuna, Bahia; Professor; Universidade Estadual de Santa Cruz; Ilhéus, Bahia; quintino@cepec.gov.br; ⁽⁶⁾ Mestre em Agronomia Universidade Federal Rural da Amazônia.

RESUMO: Este trabalho tem por objetivo estabelecer Índice de Qualidade do Solo para avaliar amostras de um solo Latossolo Amarelo Distrófico cultivado com açaizeiros, com base nos seus atributos químicos, a partir de técnicas estatísticas multivariadas. Para tanto, inicialmente aplicou-se a técnica estatística Análise Fatorial para obter os escores fatoriais utilizados para determinar o Índice de Qualidade. Posteriormente foi aplicada a técnica Análise Discriminante para validar os resultados obtidos na construção deste índice e determinar os atributos químicos que influenciam e estão associados à qualidade do solo. Com a realização deste estudo conclui-se que os atributos relacionados à acidez da solução do solo, como a saturação por bases e o potencial hidrogeniônico, são determinantes para a avaliação da qualidade de solos cultivados com açaizeiros.

Termos de indexação: Fertilidade do Solo, Cultivo de Açaí, Estatística Multivariada.

INTRODUÇÃO

O estabelecimento de índices de qualidade do solo é útil na tarefa de avaliação de impactos ambientais quando biomas são incorporados ao processo produtivo, seja de forma extensiva ou intensiva (Araújo et al., 2007). Torna-se, assim, um instrumento importante nas funções de controle, fiscalização e monitoramento de áreas destinadas à proteção ambiental. Neste contexto, um dos desafios atuais da pesquisa é como avaliar a qualidade do solo de maneira simples e confiável.

A qualidade do solo pode ser medida por meio da quantificação de alguns atributos, ou seja, de propriedades físicas, químicas e biológicas, que possibilitem o monitoramento de mudanças, a médio e longo prazo, no estado da qualidade

desse solo (Araújo et al., 2007). Entre estes, têm sido recomendados aqueles atributos ou indicadores que podem sofrer mudanças em médio prazo, tais como densidade e porosidade, estado de agregação e de compactação, conteúdo de matéria orgânica e nível de atividade biológica (Carvalho et al., 2004). De maneira geral, é possível obter informações bastante detalhadas sobre propriedades químicas e físicas do solo, enquanto o aspecto biológico é pouco conhecido (D'Andréa et al., 2002).

Este trabalho tem por objetivo estabelecer índices de qualidade para avaliar amostras de um solo Latossolo Amarelo Distrófico cultivado com açaizeiros, com base nas análises de atributos químicos a partir de métodos estatísticos multivariados.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

Os dados foram coletados em uma área particular de cultivo de açaí situada no município de Mojú, região nordeste do estado do Pará, no ano de 2009. As coordenadas geográficas da área são 02°48'34" de latitude Sul e 49°27'02" de longitude Oeste de Greenwich. O solo da área em estudo foi classificado como Latossolo Amarelo Distrófico (Embrapa, 2006), apresentando textura média.

Tratamentos e amostragens

O sistema avaliado foi uma parcela com açaizeiros irrigados (AIR), com quatro anos de idade, de terra firme, cultivar BRS-Pará. Esta parcela demarca um total de 10,8 ha (260 x 415 m) e 6.800 plantas, contendo 68 linhas, onde cada linha possui 100 plantas, com espaçamento de 4,0 m entre plantas e 4,0 m entre linhas, onde foram distribuídos aleatoriamente 48 pontos

amostrais nas entrelinhas dos açazeiros, porém 3 observações foram consideradas perdidas durante análise no laboratório. Para este estudo os dados foram obtidos de amostras simples coletadas na camada do solo de 0 a 5 cm.

Análises de solo

Análises químicas e físicas dos solos foram realizadas por procedimentos padronizados (Embrapa, 1997).

Análises estatísticas

Foi realizada a aplicação da técnica multivariada análise fatorial (AF) com o objetivo de determinar os escores fatoriais que serão utilizados na construção do Índice de Qualidade do Solo baseado nos atributos químicos (IQSQ). Este índice é definido como uma combinação dos escores fatoriais e a proporção da variância explicada por cada fator em relação à variância comum.

Para facilitar a interpretação dos resultados, foram estabelecidos os seguintes intervalos de valores do índice, assim as amostras de solos foram agrupadas conforme seu grau de qualidade: valores do IQSQ igual ou superior a 0,70 são considerados bons; valores situados de 0,35 a 0,69 são regulares e valores inferiores a 0,35 são considerados ruins (Santana, 2007).

Posteriormente foi aplicada a técnica Análise Discriminante (AD) com objetivo de validar os resultados obtidos na construção do índice de qualidade, bem como, conhecer os atributos químicos do solo que influenciam e estão associados à qualidade do solo de plantação de açaí.

As análises estatísticas foram feitas com o auxílio do programa SPSS, versão 17.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os atributos químicos analisados neste estudo estão descritos na **tabela 1**. Para atender os pressupostos da AF, procedeu-se a verificação da normalidade dos dados, sendo que foram necessárias posteriores transformações para aqueles atributos que não apresentaram distribuição normal (Pamplona, 2011). Em seguida foi verificada a adequação da amostra a AF com base no Teste de Esfericidade de Bartlett, na Medida de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e na Medida de Adequação da Amostra (MAA). Os atributos matéria orgânica do solo (g kg^{-1}) e magnésio ($\text{cmo}_c \text{ dm}^{-3}$) foram removidas da AF por apresentarem baixo valor de MAA e comunalidade.

A escolha dos atributos para compor cada um dos fatores ocorreu observando-se as cargas fatoriais de cada atributo e foi considerada significativa a carga fatorial maior que 0,70 para

fins de interpretação (**Tabela 1**). Logo, o Fator 1 tem cinco cargas significativas e o Fator 2, duas.

O Fator 1, denominado de “Acidez da Solução do Solo”, englobou os seguintes atributos: saturação por bases, acidez potencial, potencial hidrogeniônico, alumínio e cálcio (**Tabela 1**). Todos os atributos, com exceção de acidez potencial e alumínio, apresentam correlação positiva com este fator, indicando que mudanças positivas em cada um desses atributos se refletem no aumento da qualidade do solo (**Tabela 1**). A saturação por bases é definida da seguinte maneira: $V\% = (100 \times S) / T$, onde S é a soma de bases trocáveis (Ca, Mg, K e Na), e T é a CTC a pH 7,0 (Ca, Mg, K, Na, H e Al) (Novais & Mello, 2007). Entende-se que as bases trocáveis Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ contribuem para o aumento do pH do solo, ao passo que o Al^{3+} está relacionado à acidez do solo, tendo correlação negativa com o pH do solo (Sousa et al., 2007).

Ao Fator 2, chamado de “Macronutrientes”, foram associados os atributos fósforo e potássio, e ambos estão correlacionados positivamente com este fator (**Tabela 1**). Os macronutrientes P e K, depois do N, são os elementos que mais limitam o crescimento dos vegetais na maioria dos solos, especialmente os solos tropicais muito intemperizados (Dechen & Nachtigall, 2007). A AF destaca esses elementos como indicadores da qualidade para os solos cultivados com açazeiros (**Tabela 1**).

Os escores fatoriais foram utilizados para representar os fatores na construção do Índice de Qualidade, por isso os escores fatoriais foram padronizados para que tenham média igual a zero e desvio-padrão igual a um (Velicer & Jackson, 1990).

Os escores fatoriais podem ser obtidos, por:

$$(i) \text{ Acidez da Solução do Solo} = 0,19pH - 0,12P - 0,17K + 0,17Ca - 0,25Al - 0,32(H+Al) + 0,26V;$$

$$(ii) \text{ Macronutrientes} = 0,08pH + 0,52P + 0,57K + 0,11Ca - 0,10Al + 0,24(H+Al) - 0,04V.$$

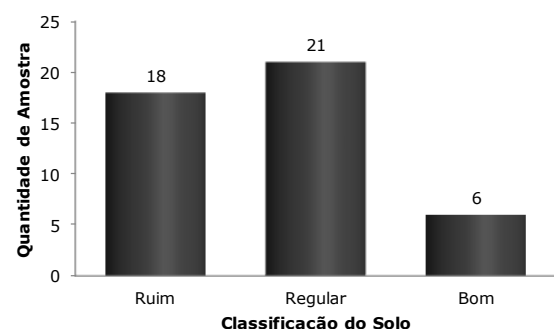


Figura 1 - Resultados da classificação de amostras de um Latossolo Amarelo Distrófico cultivado com açazeiros pelo Índice de

Qualidade do Solo baseado nos atributos químicos da camada de 0 a 5 cm, no município de Mojú, Pará.

Estes escores foram padronizados para a determinação do Índice de Qualidade para avaliar solos cultivados com açaizeiros a partir dos seus atributos químicos (IQSQ) (**Figura 1**).

Observou-se que a maioria das amostras de solos (21) foi considerada regular. Observa-se também que 18 amostras foram classificadas como ruins e 6 foram classificadas como boas (**Figura 1**).

A próxima etapa consistiu na aplicação da técnica AD realizada com o objetivo de validar os resultados obtidos na construção do índice, bem como, conhecer os atributos químicos que influenciam na discriminação dos grupos (ruim, regular e bom) e estão associados à qualidade do solo.

Todos os atributos químicos, com exceção de matéria orgânica e magnésio, contribuíram para a discriminação dos grupos ($p < 0,05$) (**Tabela 2**). No entanto, os atributos saturação por bases, potencial hidrogeniônico e cálcio são os que mais discriminam os grupos, isto é, seus poderes de diferenciação dos grupos são superiores, se comparado com os outros atributos químicos (**Tabela 2**).

O atributo saturação por bases apresentou maior valor de F (76,96) e, conseqüentemente, menor valor de λ de Wilks (0,21), sendo esse o primeiro atributo químico selecionado para entrar na análise pelo procedimento *stepwise* (**Tabela 2**). Esse atributo foi pareado com os demais, onde foi selecionado o atributo potencial hidrogeniônico, como o segundo melhor atributo discriminante (**Tabela 2**). Dessa maneira, estes foram os atributos selecionados considerados com alto poder discriminante.

Após a definição das variáveis discriminantes, procedeu-se a determinação das funções discriminantes importantes na análise das contribuições desses atributos. Neste estudo, como há três grupos (ruim, regular e bom), duas funções discriminantes foram definidas para representar 100% da variância total, porém houve grande predominância da primeira função discriminante, que representa 99,86% da variância total explicada. Além disso, o valor alto do coeficiente de correlação canônica da primeira função (0,91) indicou o alto grau de associação entre a primeira função discriminante e os grupos.

Assim, a segunda função discriminante foi eliminada do modelo ($\chi^2=0,27$; $p=0,60$) por não incorporar quantidade suficiente de informação discriminante para separar as observações em grupos.

Os coeficientes de classificação da função discriminante linear de Fisher para os atributos químicos, que servem para classificar observações são dados por:

$$Ruim = -122,76 + 54,54pH - 0,81V;$$

$$Regular = -150,47 + 58,77pH - 0,60V;$$

$$Bom = -197,26 + 64,57pH - 0,41V.$$

Dessa maneira, cada amostra de solo será classificada no grupo em que o escore discriminante for maior. As amostras originais foram classificadas novamente, observou-se que 91,11% destas foram classificadas corretamente, isto é, apenas quatro amostras foram classificadas de forma errada.

CONCLUSÕES

Pela técnicas estatísticas multivariadas Análise Fatorial e Análise Discriminante conclui-se que os atributos químicos relacionados à acidez do solo são primordiais para a avaliação da qualidade de solos cultivados com açaizeiros na região Nordeste do Pará.

REFERÊNCIAS

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

CARVALHO, R.; GOEDERT, J. W. & ARMANDO, M. S. Atributos Físicos da Qualidade de um Solo sob Sistema Agroflorestal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, v. 39, n. 11, p. 1153-1155, nov. 2004.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVIA, M. L. N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J. O. & CARNEIRO, M. A. C. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26: 913-923, 2002.

DECHEN, A. R. & NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). *Fertilidade do Solo*. Viçosa: SBCS/UFV, 2007. p. 92-132.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análise do solo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

NOVAIS, R. F. & MELLO, J. W. V. Relação solo-planta. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.;

BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. eds. Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS, 2007. cap. 4, p. 133-204.

PAMPLONA, V. M. S. Índices de Qualidade do Solo para plantação de açaí. 139f. 2011. Dissertação (Mestrado em Estatística) - Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, 2011.

VELICER, W. F. & JACKSON, D. N. Component Analysis versus Common Factor Analysis: Some issues in selecting an appropriate Procedure. *Multivariate Behavioral Research*, 25:1-28, 1990.

SANTANA, A. C. Índice de desempenho competitivo das empresas de polpa de frutas do Estado do Pará. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 45(3):749-775, 2007.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N & OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B. & NEVES, J. C. L. eds. Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS, 2007. cap. 5, p. 205-274.

Tabela 1 - Resultados da Análise Fatorial após rotação ortogonal pelo método Varimax de atributos químicos de amostras de um Latossolo Amarelo Distrófico, coletadas na camada de 0 a 5 cm, cultivado com açazeiros no município de Mojú, Pará, Brasil.

Atributo	Unidade	Eixo Fatorial		Comunalidade	MAA ⁽¹⁾
		1	2		
Saturação por Bases (V)	%	0,93	0,26	0,94	0,76
Acidez Potencial (H+Al)	cmol _c dm ⁻³	-0,92	0,04	0,84	0,70
Potencial Hidrogeniônico (pH)	Adimensional	0,86	0,42	0,91	0,90
Alumínio (Al ³⁺)	cmol _c dm ⁻³	-0,83	-0,14	0,71	0,91
Cálcio (Ca ²⁺)	cmol _c dm ⁻³	0,82	0,44	0,87	0,77
Fósforo (P)	mg dm ⁻³	0,22	0,84	0,76	0,79
Potássio (K ⁺)	cmol _c dm ⁻³	0,11	0,87	0,76	0,69
	Autovalor	3,87	1,92		
	Variância Total (%)	55,28	27,46		

⁽¹⁾ MAA - Medida de Adequação da Amostra.

Tabela 2 - Resultado do Teste de Igualdade de Médias dos grupos oriundos da classificação pelo Índice de Qualidade do Solo Químico para seleção de atributos químicos discriminantes em amostras de um Latossolo Amarelo Distrófico coletadas na camada de 0 a 5 cm.

Atributo	Lambda de Wilks	F	p
Potencial Hidrogeniônico (pH)	0,23	69,51	<0,001
Matéria Orgânica (MO)	0,99	0,14	0,870
Fósforo (P)	0,80	5,22	0,010
Potássio (K ⁺)	0,83	4,39	0,020
Cálcio (Ca ²⁺)	0,25	63,54	<0,001
Magnésio (Mg ²⁺)	0,93	1,66	0,200
Alumínio (Al ³⁺)	0,42	29,49	<0,001
Acidez Potencial (H+Al)	0,47	23,91	<0,001
Saturação por Bases (V)	0,21	76,96	<0,001