

Gráfico de Controle Multivariado T^2 de Hotelling para avaliação de atributos químicos de um Latossolo Amarelo Distrófico cultivado com açaizeiros no Nordeste do Pará, Brasil ⁽¹⁾

Edson Marcos Leal Soares Ramos ⁽²⁾; **Kelly Evelin Nunes Matos** ⁽³⁾; **Vanessa Mayara Souza Pamplona** ⁽⁴⁾; **Guilherme Amorim Homem de Abreu Loureiro** ⁽⁵⁾; **Quintino Reis de Araújo** ⁽⁶⁾; **Adriano da Silva Gama** ⁽⁷⁾

⁽¹⁾ Parte do trabalho de conclusão de curso do primeiro autor apresentada à Universidade Federal do Pará; ⁽²⁾ Professor; Faculdade de Estatística da Universidade Federal do Pará; edson@ufpa.br; ⁽³⁾ Graduada em Estatística pela Universidade Federal do Pará; Belém, Pará; kellynunesufpa@gmail.com; ⁽⁴⁾ Estatística; Universidade Federal do Pará; Belém, Pará; Doutoranda em Agronomia; Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho; Jaboticabal, São Paulo; vanessasouza@ufpa.br; ⁽⁵⁾ Mestrando em Produção Vegetal; Universidade Estadual de Santa Cruz; Ilhéus, Bahia; gahal.85@gmail.com; ⁽⁶⁾ 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; ⁽⁷⁾ Professor; Universidade Federal Rural da Amazônia; Belém, Pará; sitecesos@yahoo.com.br.

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo avaliar simultaneamente um conjunto de atributos químicos de amostras de um Latossolo Amarelo Distrófico cultivado com açaizeiros a partir do método estatístico Gráfico de Controle Multivariado T^2 de Hotelling e sua decomposição. Dentre os principais resultados foi verificado que duas amostras de solo divergem das demais, e a partir da decomposição da estatística T^2 de Hotelling, observou-se que o alumínio trocável e a acidez potencial são os atributos que mais influenciam na divergência dessas amostras em relação às demais.

Termos de indexação: Manejo do Solo, Controle de Qualidade, Fertilidade do Solo.

INTRODUÇÃO

A determinação dos fatores que influenciam as características dos solos é uma tarefa complexa (Milan & Fernandes, 2002), entretanto, a busca por métodos que facilitem a explicação da predominância de atributos no sistema edáfico em detrimento de outros tem sido uma realidade atual. As técnicas estatísticas univariadas e bivariadas apresentam certas limitações na inferência sobre o conjunto de dados. Por isso, o uso de técnicas estatísticas multivariadas surge como uma alternativa viável para se estudar os atributos químicos do solo simultaneamente, considerando as possíveis correlações entre eles.

O Controle Estatístico da Qualidade, mas especificamente o Gráfico de Controle Multivariado T^2 de Hotelling, é uma técnica multivariada que foi utilizada nesse estudo com o objetivo de avaliar simultaneamente um conjunto de características químicas de amostras de um Latossolo Amarelo Distrófico cultivado com açaizeiros.

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 (02°48'34" Sul e 49°27'02" Oeste), no ano de 2009.

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 (tratamentos) nas entrelinhas dos açaizeiros, 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 físicas (não apresentadas neste trabalho) e químicas dos solos foram realizadas por procedimentos padronizados (Embrapa, 1997).

Análises estatísticas

Para a utilização do Gráfico de Controle Multivariado T^2 de Hotelling (GCMTH) é necessário atender alguns pressupostos, por isso inicialmente foi verificada a normalidade dos

dados. Em seguida verificou-se a existência de correlações significativas entre os atributos analisados.

Após verificar que os pressupostos estão sendo atendidos pôde-se construir o GCMTH, que é um gráfico de controle do tipo *Shewhart* que verifica o comportamento dos atributos do solo a partir da média. Em seguida, foi necessário realizar a decomposição da estatística T^2 de Hotelling para identificar os possíveis atributos químicos que estão exercendo maior influência nas amostras estudadas.

O gráfico de controle foi construído com o auxílio do programa GCMTH (Gorayeb, 2010).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os atributos químicos analisados neste estudo estão descritos na **tabela 1**.

Tabela 1 - Estatística descritiva univariada de atributos químicos de um Latossolo Amarelo Distrófico cultivado com açaizeiros (45 amostras simples coletadas na camada de 0 a 5 cm) no município de Mojú, Pará, Brasil.

Atributo	Unidade	Média	CV%	Mín.	Máx.
pH	Adimensional	5,34	12,65	4,32	7,04
MO	g kg ⁻³	28,36	45,17	11,75	49,54
P	mg dm ⁻³	39,85	97,56	4,74	131,19
K ⁺	cmol _c dm ⁻³	0,19	48,53	0,07	0,40
Ca ²⁺	cmol _c dm ⁻³	1,25	66,29	0,19	3,65
Mg ²⁺	cmol _c dm ⁻³	0,64	71,54	0,10	1,73
Al ³⁺	cmol _c dm ⁻³	0,65	62,79	0,10	1,35
H+Al	cmol _c dm ⁻³	4,00	42,38	1,11	7,83
V	%	35,99	54,97	9,07	78,62

pH - Potencial Hidrogeniônico, MO - Matéria Orgânica, P - Fósforo, K⁺ - Potássio, Ca²⁺ - Cálcio, Mg²⁺ - Magnésio, Al³⁺ - Alumínio, H+Al - Acidez Potencial, V - Saturação de Bases, CV - Coeficiente de Variação, Mín - Mínimo, Máx - Máximo.

Inicialmente foi verificada a normalidade dos dados, em que se verificou que todos os atributos apresentaram distribuição, sendo que para alguns foi necessário à utilização de algumas transformações (Pamplona, 2011).

Pela matriz de correlação linear os atributos matéria orgânica e o magnésio não apresentam correlações significativas com os demais, por isso foram removidos das análises. Após essa remoção, verificou-se a existência de um considerável número de correlações significativas entre os atributos químicos ($p < 0,05$).

O próximo passo consistiu na construção do GCMTH para verificar quais amostras de solo apresentaram alguma divergência em relação às demais com relação aos atributos químicos analisados (**Figura 1**). Observa-se que as amostras de solos 17 ($T^2 = 14,30$) e 26 ($T^2 = 20,34$) apresentam valores para a estatística T^2

de Hotelling superiores ao limite superior de controle igual a 12,92, mostrando que estas amostras de solo divergem quimicamente das demais (**Figura 1**).

Para identificar em cada amostra de solo cujo valor da estatística T^2 de Hotelling ultrapassou o limite superior de controle, quais são os atributos químicos que estão associados a tal ocorrência, foi realizada a decomposição da estatística T^2 de Hotelling proposta por Mason et al. (1995).

O atributo químico de maior influencia na amostra de solo 17 é o alumínio trocável ($T^2_{Al} = 14,30$), pois, para a estatística este atributo químico contribui com 77,83% do valor total de T^2_{17} . Para a amostra 26 o atributo de maior influencia é a acidez potencial ($T^2_{H+Al} = 15,63$), pois este contribui com 76,84% do valor total de T^2_{26} (**Tabela 2**).

Tabela 2 - Decomposição da Estatística T^2 de Hotelling de atributos químicos de um Latossolo Amarelo Distrófico cultivado com açaizeiros (45 amostras simples coletadas na camada de 0 a 5 cm) no município de Mojú, Pará, Brasil.

Atributo	Amostra 17		Amostra 26	
	T^2_{17}	%	T^2_{17}	%
pH	1,95	13,64	0,47	2,31
P	0,11	0,77	0,55	2,70
K ⁺	0,76	5,31	1,85	9,10
Ca ²⁺	0,22	1,54	1,69	8,31
Al ³⁺	11,13	77,83	0,05	0,25
H+Al	0,12	0,84	15,63	76,84
V (%)	0,01	0,07	0,10	0,49
Total	14,30	100,00	20,34	100,00

A maioria dos solos brasileiros apresenta limitações químicas relacionadas aos efeitos da acidez, que se não forem corrigidas inviabilizam o estabelecimento dos sistemas de produção de grande parte das culturas (Sousa et al., 2007). Latossolos são solos muito intemperizados característicos de regiões tropicais úmidas, onde há intensa remoção e lixiviação de cátions de reação básica, ao passo que se verifica o acúmulo de Al³⁺ trocável nos sítios de carga negativa (Alleoni et al., 2011). Ainda de acordo com estes autores, a hidrólise do Al³⁺ disponibiliza H⁺, que causa a acidificação do meio.

A acidez potencial (Al+H) caracteriza o tampão de acidez do solo, que é sua resistência à mudança de pH (Sousa et al., 2007). Segundo estes autores, as argilas oxídicas contribuem para o poder tampão de acidez de solos muito intemperizados, pois são fontes de H⁺ e Al³⁺ para a solução do solo. Na plantação comercial de açaizeiros irrigados, a estatística descritiva (**Tabela 1**) para os atributos químicos como pH, P, K, Mg e Ca, denuncia que o manejo da correção da acidez e adubação do solo não foi

uniformizado para toda a área. Em consequência disso, ocorreu o predomínio da influência dos atributos Al^{3+} e $H+Al$ nas amostras 17 e 26, respectivamente, em detrimento dos outros atributos (**Tabela 2**), pois provavelmente esses pontos amostrais foram desfavorecidos em relação à correção de acidez.

CONCLUSÕES

O Gráfico de Controle de Qualidade T^2 de Hotelling se mostrou eficiente para identificar as divergências entre amostras de um solo cultivado com açaizeiros, destacando o alumínio trocável e a acidez potencial como os atributos responsáveis pela divergência química de duas amostras em relação às demais.

REFERÊNCIAS

ALLEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A.; CASAGRANDE, J. C. & SOARES, M. R. Química dos solos altamente intemperizados. In: MELO, V. F. & ALLEONI, L. R. F. eds. Química e mineralogia do solo. Parte II (Aplicações). Viçosa: SBCS, 2009. cap.18. p. 382-447.

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

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

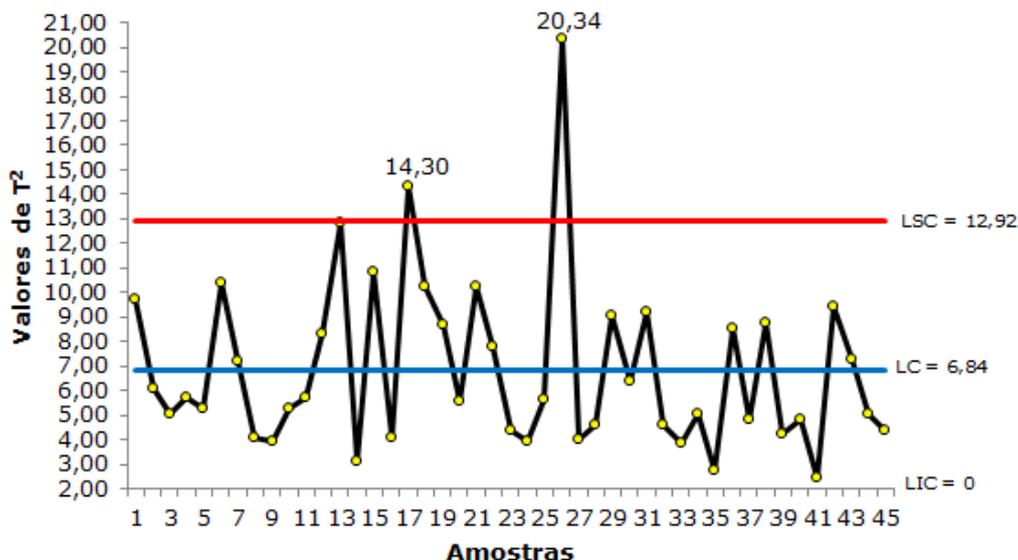
GORAYEB, S. R. Ferramenta Computacional para Geração do Gráfico de Controle Multivariado de T^2 de Hotelling. 2010. Dissertação (Mestrado em Matemática e Estatística), Programa de Pós-Graduação em Matemática e Estatística, UFPA, Belém, Brasil, 2010.

MASON, R. L.; TRACY, N. D. & YOUNG, C. H. Decomposition of T^2 for multivariate control chart interpretation. Journal of Quality Technology, 1995.

MILAN, M. & FERNANDES, R. A. T. Qualidade das operações de preparo de solo por controle estatístico de processo. Revista Scientia Agrícola, Piracicaba, 59(2):261-272, 2002.

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.

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.



LSC: Limite Superior de Controle; LC: Linha Central; LIC: Limite Inferior de Controle.

Figura 1 - Gráfico de Controle Multivariado T^2 de Hotelling para atributos químicos de um Latossolo Amarelo Distrófico cultivado com açaizeiros (45 amostras simples coletadas na camada de 0 a 5 cm) no município de Mojú, Pará, Brasil.