

ESTATÍSTICA MULTIVARIADA APLICADA EM DADOS DE CUSTOS DA FASE DE PÓS-COLHEITA DO CAFÉ

Rafael Vargas Mesquita dos Santos¹, Henrique Duarte Vieira², Flávio Meira Borém³,
Máriele Vilela Bernardes Prado⁴

(Recebido: 30 de maio de 2016; aceito: 08 de setembro de 2016)

RESUMO: A escolha do modo de processamento do café é decisiva na rentabilidade da atividade cafeeira, e dependerá de diversos fatores. Assim, em decorrência da existência de tantas variáveis é comum o produtor questionar a viabilidade de determinados tipos de processamentos. Desse modo, o objetivo deste trabalho foi realizar um estudo dos principais fatores influenciadores no custo da pós-colheita do café. Quarenta e seis fazendas das regiões do Cerrado, Matas de Minas e Sul de Minas Gerais responderam a um questionário elaborado no sentido de possibilitar esta análise. A aplicação das técnicas multivariadas de análise de agrupamento, análise de fatores e análise de componentes principais, possibilitou concluir que as fazendas com maiores custos simulados foram as que possuíam as maiores porcentagens de produção de café via úmida.

Termos para indexação: Agrupamento, componentes principais, análise de fatores.

MULTIVARIATE STATISTICAL APPLIED TO DATA COSTS POST-HARVEST COFFEE

ABSTRACT: The choice of method of processing coffee is decisive on the profitability of the coffee activity, and will depend on several factors. Thus, due to the existence of many variables is common producer to question the viability of certain types of processing. Thus, the objective in this research was carried out a study of the major influencing factors on the cost of post-harvest coffee. Forty-six farms in the regions of the Cerrado, Matas de Minas and southern Minas Gerais State answered a questionnaire in order to enable this analysis. The application of multivariate techniques of cluster analysis, factor analysis and principal component analysis, allowed us to conclude that farms with higher costs simulated were those with the highest percentages of wet coffee production.

Index terms: Clustering, principal components, factor analysis.

1 INTRODUÇÃO

Em uma época em que o mercado de cafés especiais está se expandindo cada vez mais e o consumidor ficando mais exigente, elevar a qualidade da bebida é fundamental para atender o mercado e aumentar a renda do cafeicultor (MENDONÇA et al., 2007; RESENDE et al., 2011; SAATH et al., 2010). Um dos fatores determinantes para isto é a pós-colheita (ABRAHÃO et al., 2010). Borém (2008) afirma que grande parte das questões agrônômicas da cafeicultura brasileira já estão muito bem evoluídas. Todavia, no momento em que o café é colhido e encaminhado para o processamento faltam informações de gestão de conhecimento tecnológico que garantam a manutenção da qualidade com baixos custos.

Assim, a determinação dos custos é relevante para a este tipo de análise, sendo uma base para a

tomada de decisão (FIELD; KIRCHAIN; ROTH, 2007; VALENTE et al., 2011).

O Pós-Café consiste em um sistema de apoio à decisão voltado a análise do custo da pós-colheita do café, ou seja, emprega o conhecimento humano para resolver problemas que requerem a presença de um especialista nesta fase de processamento do café (BORÉM, 2008).

Na perspectiva apresentada por Catenet al. (2011), as técnicas multivariadas possibilitam avaliar um conjunto de características, considerando as correlações existentes, permitindo que inferências sobre o conjunto de variáveis sejam feitas em um nível de significância conhecido.

Para a utilização da análise de variância multivariada, trabalha-se uma ampla gama de metodologias multivariadas possibilitando complementar os resultados obtidos e propiciar subsídios para utilização prática das informações resultantes (BENIN et al., 2009).

¹Instituto Federal do Espírito Santo/IFES - Coordenadoria de Informática - Cx. P. 527 - 29300-970 - Cachoeiro de Itapemirim - ES - ravarmes@gmail.com

²Universidade Estadual Norte Fluminense/UENF - Centro de Ciência e Tecnologias Agropecuárias/CCTA - Campos dos Goytacazes - RJ - henrique@uenf.br

³Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Engenharia/DEG - Cx. P. 3037 - 37.200-000 Lavras - MG - flavioborem@deg.ufla.br

⁴Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Estatística/DEX - Cx. P. 3037 - 37.200-000 Lavras - MG - mari_bernardes@yahoo.com.br

Devido ao grande número de variáveis que influenciam os custos de processamentos do café em sua fase de pós-colheita, esse trabalho tem por objetivo estudar as principais variáveis influentes neste custo, por meio da utilização de um sistema de apoio à decisão (Pós-Café) e técnicas estatísticas multivariadas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Aplicação de questionários aos produtores de café

Foram aplicados questionários em 46 fazendas localizadas nas regiões: Cerrado, Matas de Minas e Sul de Minas Gerais. Escolheram-se estas regiões devido aos diversos tipos de processamentos na fase de pós-colheita do café utilizado nas fazendas. Dessa forma, o estudo das variáveis relacionadas aos custos da pós-colheita do café tornou-se mais completo.

Análise estatística multivariada para o custo da fase de pós-colheita do café

A Tabela 1 apresenta as respostas das 46 fazendas aos questionários aplicados para algumas das variáveis de entrada. Apesar de outras variáveis também terem sido utilizadas na simulação de custos do Pós-Café, estas foram selecionadas para a análise multivariada por influenciarem diretamente o custo de pós-colheita do café.

As variáveis apresentadas na Tabela 1 possuem os seguintes significados:

QS - Quantidade de sacas de café colhidas (sacas);

QDC - Quantidade de dias necessários para a colheita do café (dias);

PCVU - Porcentagem de café via úmida produzidos (%);

CMO - Custo de mão de obra por dia de trabalho (R\$);

TER - Área de terreno declarada (metros quadrados);

SEC - Capacidade de secadores declarada (litros);

CSIM - Custo simulado de pós-colheita por saca de café (R\$).

As seis primeiras variáveis têm como respostas os dados declarados pelos responsáveis das fazendas entrevistadas. Já a variável número 7, a saber, CSIM, possui dados originados por intermédio de simulações de software realizadas na ferramenta Pós-Café.

Para os dados referentes aos custos da fase de pós-colheita do café contidos na Tabela 1 foram aplicadas as técnicas de análise multivariada: análise de agrupamento, análise de fatores e análise de componentes principais.

Simulações de programa computacional

Os dados de cada questionário respondido nas 46 fazendas foram utilizados como entrada em simulações processadas no sistema de apoio à decisão para análise do custo da pós-colheita do café, denominado Pós-Café (BORÉM, 2008).

Análise estatística

Os softwares utilizados para realização das análises foram: Statistica e o R. Nesta etapa do trabalho abordaram-se técnicas estatísticas multivariadas para o estudo aprofundado dos dados dos questionários aplicados às 46 fazendas.

Análise de agrupamento das fazendas: foram trabalhadas variáveis quantitativas, por análise de agrupamento, na finalidade de classificá-las em grupos relativamente homogêneos e verificar as similaridades entre as mesmas (MARDIA; KENT; BIBBY, 1997). Os dados foram padronizados e a distância escolhida foi a euclidiana média, devido à ausência de repetições nos tratamentos. O método de agrupamento escolhido foi o método da ligação completa, o qual tem tendência a formar grupos compactos (CARGNELUTTI FILHO et al., 2008).

Análise de fatores: utilizada para explicar o comportamento de um número relativamente grande de variáveis respostas, em termos de um pequeno número de fatores. Além disso, também foram estudadas as correlações entre as variáveis, principalmente em relação ao custo simulado da pós-colheita. Para a seleção do número de componentes optou-se pelo critério de Kaiser, citado por Mardia, Kent e Bibby (1997), ou seja, autovalores maiores que 1.

Análise de componentes principais: teve caráter confirmatório, tanto com objetivo de confirmação dos grupos de variáveis formados pela análise de agrupamento, quanto em relação às correlações identificadas na análise de fatores (JACKSON, 1980).

TABELA 1 - Dados de 46 fazendas entrevistadas para as variáveis de entrada selecionadas.

Fazenda	QS (sacas)	QDC (dias)	PCVU (%)	CMO (R\$)	TER (m ²)	SEC (litros)	CSIM (R\$)
1	19000	80	30	30	18000	120000	6,98
2	10000	85	0	50	21000	0	4,08
3	6000	120	28,33	42	10000	0	8,66
4	4000	60	0	50	7000	39000	11,82
5	1700	100	0	50	3800	0	9,36
6	2100	60	0	30	5500	0	7,76
7	6000	90	35,83	50	6000	64000	17,72
8	9000	90	11	25	17900	51000	8,04
9	4000	120	50	45	7300	30000	11,17
10	900	45	0	50	3000	0	8,59
11	1500	60	0	40	4000	0	5,24
12	4500	70	0	45	9000	0	8,35
13	5000	80	0	40	8800	39000	9,61
14	6000	75	0	60	10300	0	10
15	13500	60	17	40	21000	60000	8,98
16	2300	70	0	50	9500	0	8,13
17	800	26	0	50	5000	0	9,32
18	8000	50	0	45	6000	0	10,2
19	1300	80	0	35	3000	0	7,01
20	8000	105	0	45	10600	45000	6,95
21	6500	45	0	50	10000	88000	8,55
22	8500	90	0	46	11000	30000	9,27
23	3500	95	0	30	12000	0	6,05
24	4700	80	0	30	10000	0	4,54
25	4000	90	0	40	6000	22000	5,25
26	18000	120	31	40	46600	123000	14,16
27	16000	100	35	40	20000	171000	9,41
28	6000	90	40	55	12000	60000	9,39
29	6000	80	0	40	10000	30000	10,85
30	38000	110	48	30	66000	150000	6,92
31	6000	72	56	45	27000	72000	11,69
32	35000	90	20	45	85000	126000	9,25
33	11000	60	40	45	20000	90000	9,36
34	1800	100	0	50	4500	0	15,24
35	3000	120	78	30	6600	22500	24,23
36	12200	45	65	40	47000	141000	14,77
37	4000	50	57,5	49	10500	65500	25,77
38	16500	140	30	51,5	29500	84000	9,83
39	27500	110	0	26	37300	210000	10,18
40	1804	75	56	40	6500	35000	15,19
41	12000	100	40	30	20000	90000	17,18
42	20000	100	47	42	27700	105000	11,29
43	10000	100	0	42	21400	36000	10,78
44	5312	100	55	75	10500	67500	12,57
45	8000	120	55	30	8000	69000	12,99
46	5000	90	60	30	3000	57500	18,07

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A utilização de técnicas multivariadas para o estudo da produção de café são amplamente utilizadas (CLEMENTE et al., 2010; MORGANO et al., 2011). Estes procedimentos estatísticos são eficientes em trabalhos envolvendo estudos dessa natureza. Nesta etapa do trabalho descreveremos todos os resultados das técnicas utilizadas.

Análise de agrupamento para os custos da fase de pós-colheita do café

Na realização da análise de agrupamento, para dados padronizados, pelo método de ligação completa e distância euclidiana, o resultado foi o dendrograma da Figura 1.

No dendrograma elaborado verifica-se, tomando como base a distância 5,60, a formação de 4 grupos distintos: um grupo composto pela variável CMO; um grupo composto pelas variáveis CSIM e PCVU; um grupo composto pela variável QDC; e um grupo composto pelas variáveis SEC, TER e QS. Uma vez que estes grupos são formados pelas similaridades existentes entre as variáveis, cabe ressaltar que o CSIM e PCVU possuem elevada homogeneidade, ou seja, são variáveis correlacionadas.

Análise de fatores para os custos da fase de pós-colheita do café

Além de se realizar um estudo das correlações entre as variáveis, mediu-se a adequação dos dados através do teste KMO, o qual forneceu um valor de 0,61 e o *Bartlett Test* com valor de 2669,629 e nível de significância de $p =$

0,000. Através desses valores demonstra-se que a análise de fatores pôde ser conduzida, obtendo um grau de adequação próximo de razoável, conforme a classificação do KMO (BEZERRA;CORRAR, 2006).

Esta análise explicou o comportamento das sete variáveis respostas, em termos de dois fatores. As variáveis respostas foram agrupadas por meio de suas correlações.

Considerando as sete variáveis e analisando-se os resultados obtidos, pode-se verificar que o 1º e 2º autovalores são maiores que 1 e explicam 65,83% da variância, conforme apresentado pela Tabela 2. Os demais autovalores são menores que 1. Portanto, os dados serão resumidos pelo 1º e 2º componentes principais.

A Figura 2 mostra os planos fatoriais para custos da fase de pós-colheita do café. Analisando-a, pode-se observar que as variáveis se agrupam por similaridades de explicação, ou seja, estão agrupadas por fatores. As variáveis que explicam ou representam melhor o fator 1 são aquelas que estiverem localizadas mais distantes da origem, em relação ao eixo x. As variáveis que estiverem localizadas próximas à origem do plano fatorial possuem baixa representatividade. Neste caso, as variáveis que melhor representam o fator 1, num prolongamento do eixo x até a origem dos eixos, são: QS, SEC e TER. Do mesmo modo, as variáveis que melhor representam o fator 2 são: CSIM e PCVU.

As distâncias de cada uma das variáveis analisadas são encontradas traçando-se segmentos de reta perpendiculares ao eixo considerado. Assim, as variáveis que estiverem localizadas mais distantes da origem, a partir da perpendicular traçada, terão maior influência sobre o fator analisado.

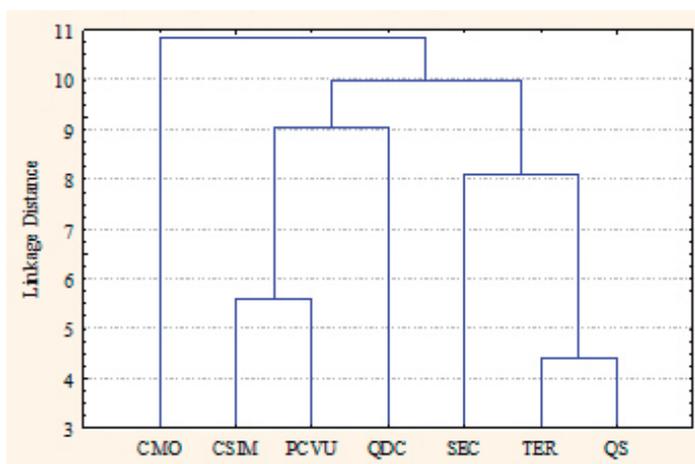
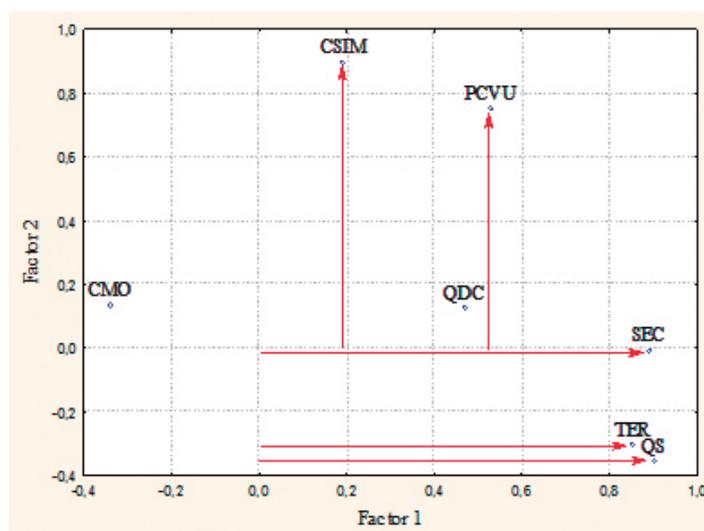


FIGURA 1 - Dendrograma dos dados de custos da fase de pós-colheita do café.

TABELA 2 - Autovalores da análise de componentes principais, baseados em caracteres de custos da fase de pós-colheita do café.

Valor	Autovalor	% Variância Total	Autovalor Cumulativo	Cumulativo %
1	2,984130	42,63043	2,984130	42,6304
2	1,624432	23,20617	4,608562	65,8366
3	0,983149	14,04498	5,591711	79,8816
4	0,796313	11,37590	6,388024	91,2575
5	0,286391	4,09130	6,674415	95,3488
6	0,261929	3,74184	6,936344	99,0906
7	0,063656	0,90937	7,000000	100,0000

**FIGURA 2** - Planos fatoriais para custos da fase de pós-colheita do café.

Também foram determinadas as correlações entre as variáveis, conforme Tabela 3.

Analisando-se os resultados da matriz de correlação (Tabela 3) entre as variáveis, observou-se que a maioria dos valores são inferiores a 0,7 indicando uma correlação fraca entre as variáveis. Apenas entre as variáveis QS e TER; QS e SEC existem valores de correlações fortes, concluindo-se uma interligação entre as variáveis citadas e que a análise das mesmas deveria ser realizada conjuntamente e não de forma isolada.

Todavia é importante notar que a variável mais correlacionada (0,65) ao custo simulado (CSIM) foi a porcentagem de café via úmida (PCVU).

O custo simulado por saca de café na fase de pós-colheita foi caracterizado pela independência quanto à influência de diversos fatores estudados. Como apenas a variável de porcentagem de produção de café via úmida apresentou correlação relativamente significativa em relação ao custo,

conclui-se que a influência dos demais fatores ocorre de forma independente para as fazendas estudadas.

É importante ressaltar que o fato da porcentagem de produção de café via úmida estar correlacionada positivamente com o custo, não permite concluir que é sempre viável utilizar a metodologia via seca na fase de pós-colheita do café, uma vez que a mesma apresenta custos menores. Isso porque, esta decisão depende não somente do custo, mas também da receita.

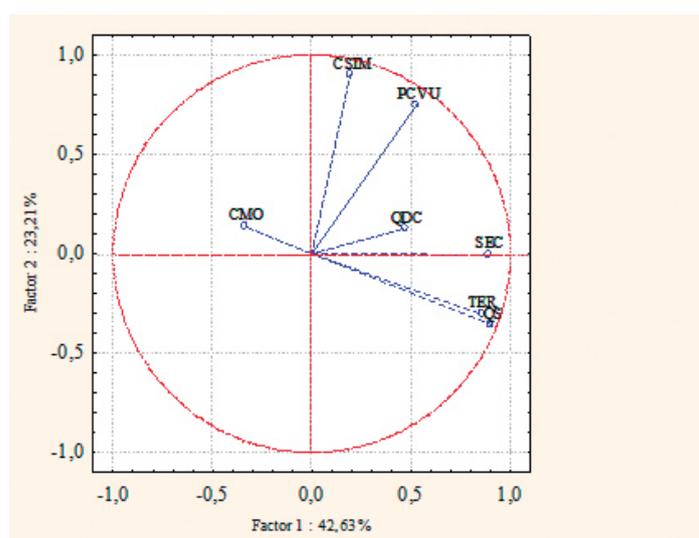
Análise de componentes principais para os custos da fase de pós-colheita do café

Para esta análise também foram consideradas apenas os dois primeiros componentes principais, conforme Tabela 2.

O círculo de correlação unitário (Figura 3) foi utilizado como complemento para um maior esclarecimento das análises realizadas.

TABELA 3 - Correlações para custos da fase de pós-colheita do café.

	QS	QDC	PCVU	CMO	TER	SEC	CSIM
QS	1,00	0,33	0,19	-0,25	0,90	0,79	-0,11
QDC	0,33	1,00	0,28	-0,18	0,22	0,24	0,09
PCVU	0,19	0,28	1,00	-0,07	0,23	0,44	0,65
CMO	-0,25	-0,18	-0,07	1,00	-0,15	-0,22	0,03
TER	0,90	0,22	0,23	-0,15	1,00	0,69	-0,06
SEC	0,79	0,24	0,44	-0,22	0,69	1,00	0,17
CSIM	-0,11	0,09	0,65	0,03	-0,06	0,17	1,00

**FIGURA 3** - Círculo de correlação unitário para custos da fase de pós-colheita do café.

Analisando-se a Figura 3 observa-se que as variáveis que estiverem mais próximas ao círculo unitário, possuem uma maior contribuição em relação àquelas que estiverem mais afastadas. De acordo com Caten et al. (2011), também deve ser observado o ângulo formado entre duas variáveis, demonstrando maior ou menor correlação entre as mesmas. Assim, TER e SEC; e CSIM e PCVU contribuem fortemente na análise e possuem correlação significativa, devido ao pequeno ângulo formado entre estas variáveis.

Fazendo-se uma sobreposição da Figura 3 sobre o 1º plano fatorial (Figura 4), identificam-se visualmente quais as variáveis que estão relacionadas com os casos em estudo, ou seja, as fazendas. Como exemplo, pode-se citar que para a variável CSIM os casos mais significativos são:

2, 24 (menores valores de custos); 35, 37 (maiores valores de custos).

Analisando-se a Figura 4, observa-se que diversos casos contribuem na formação da combinação linear dos fatores 1 e 2, tornando-se muito difícil a identificação dos casos mais representativos, podendo-se citar: 30 e 32 para o fator 1; 35 e 37 para o fator 2.

Observa-se uma distribuição bastante uniforme das fazendas, ocorrendo uma maior concentração em torno da origem. Esses casos não apresentam representatividade significativa, em relação aos fatores 1 e 2. Também ocorrem algumas sobreposições, ou seja, algumas fazendas foram influenciadas pelos fatores 1 e 2 de forma muito parecida.

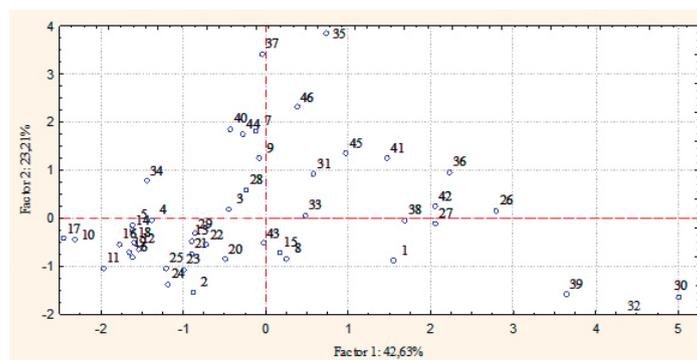


FIGURA 4 - Distribuição da nuvem de pontos por fazendas para custos da fase de pós-colheita.

4 CONCLUSÃO

As fazendas podem ser agrupadas em relação às produções em sacas de café (QS), áreas de terreiro declaradas (TER) e capacidades de secadores declaradas (SEC). A forte correlação entre QS e TER, além de QS e SEC indicam que as fazendas com as maiores produções em sacas (QS) foram as de maiores áreas de terreiro declaradas (TER) e capacidades de secadores declaradas (SEC).

As fazendas com maiores custos simulados (CSIM) foram aquelas que possuíam as maiores porcentagens de produção de café via úmida (PCVU). Dentre as variáveis analisadas, PCVU foi a que mais influenciou no CSIM.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Faperj, CNPq, Capes e Nucoffee por financiarem este trabalho.

6 REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, S. A. et al. Compostos bioativos e atividade antioxidante do café (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 414-420, mar./abr. 2010.

BENIN, G. et al. Capacidade de combinação em genótipos de trigo estimada por meio de análise multivariada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.9, p. 1145-1151, set. 2009.

BEZERRA, F. A.; CORRAR, L. J. Utilização da análise fatorial na identificação dos principais indicadores para avaliação do desempenho financeiro: uma aplicação nas empresas de seguros. **Revista Contabilidade & Finanças**, São Paulo, v. 42, n. 1, p. 50-62, set./dez. 2006.

BOREM, F. M. Processamento do café. In: _____. **Pós-colheita do café**. Lavras: Ed. UFLA, 2008. cap. 5, p. 127-158.

CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Comparação de métodos de agrupamento para o estudo da divergência genética em cultivares de feijão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.8, p.2138-2145, nov. 2008.

CATEN, A. T. et al. Estatística multivariada aplicada à diminuição do número de preditores no mapeamento digital do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.5, p.554-562, maio 2011.

CLEMENTE, A. C. S. et al. Aplicações de técnicas de análise multivariada na avaliação da qualidade química e sensorial de café. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 8., 2013, Salvador. **Anais...** Salvador, 2013. 1 CD-ROM.

FIELD, F.; KIRCHAIN, R.; ROTH, R. Process cost modeling: strategic engineering and economic evaluation of materials technologies. **Journal of the Minerals, Metals and Materials Society**, Warrendale, v. 59, p. 21-32, 2007.

JACKSON, J. E. Principal components and factor analysis: part I, principal components. **Journal of Quality Technology**, New York, v.12, n.4, p. 201-213, Oct. 1980.

MARDIA, A. K. V.; KENT, J. T.; BIBBY, J.M. **Multivariate analysis**. London: Academic, 1997. 518p.

MENDONÇA, L. M. V. L. et al. Composição química de grãos crus de cultivares de *Coffea arabica* L. suscetíveis e resistentes à *Hemileia vastatrix* Berg et Br. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 2, p. 413-419, mar./abr. 2007.

MORGANO, M. A. et al. Determinação de umidade em café cru usando espectroscopia NIR e regressão multivariada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n.1, p.12-17, jan./mar. 2008.

RESENDE, O. et al. Qualidade do café conilon submetido à secagem em terreiro híbrido e de concreto. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.35, n.2, p.327-335, mar./abr. 2011.

SAATH, R. et al. Microscopia eletrônica de varredura do endosperma de café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.34, n.1, p.196-203, jan./fev. 2010.

VALENTE, D. S. M. et al. Um sistema de apoio à decisão para determinação de tarifas em unidades armazenadoras de grãos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 4, p. 735-744, ago. 2011.