

**DENSIDADE E MÉTODO AMOSTRAL PARA OBTENÇÃO DO FATOR DE CORREÇÃO
UTILIZADO NA CONFECCÃO DE MAPAS DE PRODUTIVIDADE NA CULTURA DO
CAFÉ (*Coffea arabica* L.)**

GUSTAVO DI CHIACCHIO FAULIN¹, JOSÉ PAULO MOLIN², WILSON MARCOS
STANISLAVSKI³

¹ Professor Associado I, Fatec Shunji Nishimura, Pompeia - SP, (14) 3452-1482 (3227), gustavo.faulin@fatec.sp.gov.br

² Professor Associado, Depto. Engenharia de Biosistemas, ESALQ – USP, Piracicaba - SP

³ Engenheiro Agrônomo, Mestre em agronomia, Máquinas Agrícolas Jacto, Pompeia - SP

Apresentado no
Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP 2014
14 a 17 de setembro de 2014 - São Pedro - SP, Brasil

RESUMO: A cultura do café apresenta desuniformidade na maturação dos seus frutos, dificultando a obtenção de dados corretos visando o mapeamento da produtividade, tanto na medição de peso como de volume, uma vez que se deseja expressar a produção em kg ha⁻¹ de café beneficiado. Tal desuniformidade é influenciada pelo microclima, sistema de cultivo e inúmeras outras variáveis que apresentam diferenças espaciais. Partindo desta premissa, foram avaliados conjuntos de amostras georreferenciadas de indicadores da maturação dos frutos de café, objetivando a identificação da necessidade real de se considerar a espacialização do coeficiente de transformação de café de campo para café beneficiado e a estimação da densidade amostral necessária. O valor do Fator de Conversão obtido com densidade amostrais iguais ou superiores a 3 amostras ha⁻¹ não se diferiram estatisticamente a 5% de probabilidade.

PALAVRAS-CHAVE: agricultura de precisão, monitor de produtividade, variabilidade espacial

**SAMPLE DENSITY AND METHOD FOR OBTAINING OF THE CORRECTION
FACTOR USED IN THE COFFEE (*Coffea arabica* L.) YIELD MAP**

ABSTRACT: Coffee crop maturation is not uniform and represent an extra challenge in obtaining the correct data to produce the yield map, measuring both the weight or volume to express it in kg ha⁻¹ of processed coffee (commodity). Such variability is influenced by microclimate, crop system and numerous other variables that exhibit spatial differences. Based on this assumption a set of georeferenced samples of coffee were collected and their indicators of maturation were analyzed in order to identify the real need of considering the spatial distribution of the coffee field transformation coefficient to processed coffee and estimation of the sample density required. The value of the conversion factor obtained equal or greater to 3 samples ha⁻¹ did not differ statistically at 5% probability.

KEYWORDS: precision agriculture, spatial variability, yield monitor

INTRODUÇÃO

Segundo (Silva e Alves, 2013), há um vasto campo de desenvolvimento e aplicações tecnológicas da Cafeicultura de Precisão, não só pela importância dessa cultura para nosso país, mas, também, pelo alto grau tecnológico que temos observado em muitas lavouras, sem contar o valor econômica da mesma. Desta maneira a cafeicultura nacional continua sendo uma importante geradora de divisas, com uma estimativa de produção para a safra 2014 em torno de 44,57 milhões de sacas de 60 quilos de café beneficiadas (Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, 2014).

O rendimento da lavoura de café, segundo Pezzopane (2003), é influenciado, entre outros fatores, pelo estágio de maturação dos frutos na colheita, sendo que à medida que os frutos verdes amadurecem e passam ao estágio de cereja e passa, o rendimento decresce, crescendo novamente entre os estádios passa e seco. Tais modificações são atribuídas, provavelmente, a diferentes concentrações de água no fruto durante o processo de maturação.

A desuniformidade da maturação tem sido preocupação constante, pelos inconvenientes que traz à colheita (Renna et al., 1986), prejudicando o desempenho operacional e a qualidade do café (Silva et al., 2006). A sincronização da maturação parece ser uma tarefa difícil, e os frutos no mesmo cafeeiro raramente estarão no mesmo estágio de desenvolvimento devido a várias florações e a diferentes taxas de crescimento dentro de uma florada (Rena, 2001), dificultando o mapeamento da produtividade na agricultura de precisão.

O presente estudo se propõe a estudar a variabilidade espacial dos indicadores da maturação do café no momento da colheita e identificar a necessidade ou não da espacialização das amostras do fruto de café para o cálculo da conversão da produção de litros do café de campo para massa de café beneficiado nos mapas de produtividade em agricultura de precisão.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados analisados foram coletados na safra 99/00 em duas áreas comerciais do estado de São Paulo, cultivadas com a espécie *Coffea arabica* L. (Tabela 1).

TABELA 1. Descrição das áreas comerciais utilizadas neste experimento.

Identificação	Localidade	Área (ha)	Cultivar	Coordenadas geográficas médias (WGS84)		Altitude média (m)
				Latitude	Longitude	
				Área 1	Gália, SP	
Área 2	Pompeia, SP	5,3	Catuaí	22,1167° S	50,1333° O	596

A coleta dos dados da produção em litros de café de campo, foi feita utilizando uma colhedora marca Jacto[®], modelo K-3, equipada com um monitor de colheita, como descrito por Sartori et al. (2002) conectado a um receptor GPS.

Durante a operação de colheita, utilizando uma grade amostral georreferenciada na densidade de 20 amostras por hectare, foram coletadas amostras diretamente na bica de descarga da colhedora contendo exatamente 1 litro de café de campo (Figura 1a). Cada amostra foi disposta ao ar para secagem (Figura 1b), beneficiada e pesada.



FIGURA 1. Coleta das amostras de 1 litro diretamente na bica de descarga da colhedora (a); amostras dispostas ao ar para secagem para posterior beneficiamento e pesagem (b)

Com os pesos de cada amostra foi possível calcular o Fator de Conversão (F_c) (Equação 1) que expressa a conversão da produção de litros de café de campo para quilos do fruto seco e beneficiado, dividindo o volume da amostra do café de campo (1 litro) pela massa em quilos após seu beneficiamento.

$$F_c = \frac{V_c}{M_b} \quad (1)$$

Em que:

F_c - fator de conversão;

V_c - volume colhido de café de campo (L); e

M_b - massa beneficiada (kg).

A partir da densidade máxima (20 amostras ha^{-1}), foram estabelecidos os tratamentos de acordo com a Tabela 2, aplicando apenas um raleamento não tendencioso dos dados para obter as densidades menores.

TABELA 2. Descrição dos tratamentos com as diferentes densidades amostrais do Fator de Conversão

Tratamentos	Densidade (amostras ha^{-1})	Situação
1	20,0	Georreferenciadas
2	20,0	Sem georreferenciamento
3	15,0	Sem georreferenciamento
4	10,0	Sem georreferenciamento
5	5,0	Sem georreferenciamento
6	3,0	Sem georreferenciamento
7	2,0	Sem georreferenciamento
8	1,0	Sem georreferenciamento
9	0,50	Sem georreferenciamento
10	0,25	Sem georreferenciamento

No intuito de analisar e indicar um número apropriado de amostras por hectare sem a necessidade do georreferenciamento, o F_c foi obtido, para cada densidade, calculando a média

das amostras de cada talhão sem levar em consideração suas coordenadas geográficas, aplicando esta média a todos os dados do mapa de produtividade. Já para verificar a necessidade do georreferenciamento das amostras, o F_c obtido para cada uma das amostras foi calculado e interpolado exclusivamente na densidade de 20 amostras ha^{-1} , obtendo assim um mapa do F_c utilizado na conversão do mapa de produtividade.

Os valores do fator de conversão e da produção do café foram analisados com a estatística descritiva e a geoestatística. A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelos coeficientes de assimetria e curtose, histogramas e gráfico *boxplot*. Caso houvesse a necessidade de transformação dos dados era indicada pela função *BoxCox* do pacote MASS (Venables e Ripley, 2002). Todas as análises foram realizadas no programa computacional R Development Core Team (2008) com os pacotes stats (R Development Core Team, 2008), MASS (Venables e Ripley, 2002) e geoR (Ribeiro Jr. e Diggle, 2001). O método de interpolação utilizado foi a krigagem ordinária com células de 15 x 15 metros.

A estatística da ANOVA foi aplicada para identificar diferenças significativas a 5% de probabilidade entre os métodos amostrais e após detectadas as diferenças, foram realizadas as comparações das médias da produtividade ($kg\ ha^{-1}$ de café beneficiado) pelo teste de Tukey Honest Significant Differences (Tukey-HSD) a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Do total de dados da produção obtidos pela colhedora, foram mantidos após a análise exploratória 69,6% e 72,1% dos dados para as áreas 1 e 2, respectivamente. O restante foi removido considerando o “efeito bordadura” e candidatos a discrepantes (Tukey, 1977). Os fatores de conversão não tiveram remoção de nenhum dado, considerando a consistência na obtenção destes valores. Os resultados estatísticos da produtividade e do fator de conversão na densidade máxima estão na Tabela 3.

TABELA 3. Síntese da estatística descritiva para o fator de conversão e produtividade ($L\ ha^{-1}$) para as duas áreas experimentais

Parâmetros	Produtividade ($L\ ha^{-1}$)		Fator de conversão ($L\ kg^{-1}$)	
	Área 1	Área 2	Área 1	Área 2
Nº amostras	727	484	166	106
Mínimo	9.421,2	5.310,0	6,67	6,14
Máximo	29.641,2	18.957,0	8,97	9,43
Média	20.814,9	12.786,3	7,78	7,87
Mediana	20.988,0	12.801,3	7,75	7,78
Desv. Padrão	4.113,1	2.820,9	0,46	0,60
CV ¹ (%)	19,7	22,1	5,92	7,58
Assimetria	-0,267	-0,122	0,012	0,166
Curtose	-0,458	-0,357	-0,384	-0,072

³ Coeficiente de variação.

A descrição dos modelos e parâmetros utilizados no semivariograma encontra-se na Tabela 4. Todos os parâmetros foram estimados pela máxima verossimilhança restrita. Nos ensaios de campo na agricultura a estimação de máxima verossimilhança restrita dos parâmetros de covariância espacial, tem sido preferida à de máxima verossimilhança (Cressie e Lahiri, 1996; Kitanidis e Shen, 1996).

TABELA 4. Modelos utilizados e parâmetros ajustados aos semivariogramas: efeito pepita (C0), patamar (C1), alcance (a) e grau de dependência espacial.

Área	Variável	Modelo	C ₀	C ₁	a (m)	$\left(\frac{C_0}{C_0 + C_1}\right) \times 100$
1	Produção	Esférico	7.808.124	7.912.907	112,2	49,7
2		Esférico	5.295.611	4.921.822	101,3	51,8
1	F _c (20 amostras ha ⁻¹)	Esférico	0,0637	0,1753	360,6	26,7
2		Exponencial	0,1435	0,2859	100,0	33,4

Todas as variáveis foram consideradas de moderada dependência espacial (Cambardella, Moorman et al., 1994).

Avaliando as alternativas amostrais para cada área, observou-se que na Área 1 não houveram diferenças significativas a 5% de probabilidade na análise de variância, indicando que a menor densidade (0,25 amostras ha⁻¹) amostral produz o mesmo resultado das densidades maiores, inclusive da amostra georreferenciada (Tabela 5). A Área 2 apresentou diferenças significativas, demonstrando que os tratamentos com 1, 3, 5, 10, 15 e 20 amostra ha⁻¹ e também o georreferenciado não apresentaram diferença significativa pelo teste TukeyHSD (P>0,05) (Tabela 5)

TABELA 5. Diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste de TukeyHSD (P>0,05)

Tratamentos	Média (produtividade kg ha ⁻¹)	
	Área 1	Área 2
0,25 amostras ha ⁻¹	2.660,3 ^a	1.429,5 ^k
0,50 amostras ha ⁻¹	2.678,1 ^a	1.541,1 ^{ij}
1,00 amostras ha ⁻¹	2.671,3 ^a	1.601,9 ^{abcdef}
2,00 amostras ha ⁻¹	2.686,3 ^a	1.574,7 ^{defghi}
3,00 amostras ha ⁻¹	2.696,6 ^a	1.586,7 ^{abcdefgh}
5,00 amostras ha ⁻¹	2.705,8 ^a	1.605,4 ^{abcde}
10,00 amostras ha ⁻¹	2.731,6 ^a	1.599,6 ^{abcdefg}
15,00 amostras ha ⁻¹	2.727,1 ^a	1.611,8 ^{abc}
20,00 amostras ha ⁻¹	2.711,2 ^a	1.616,5 ^a
Georreferenciado	2.666,9 ^a	1.607,3 ^{abcd}

CONCLUSÕES

Avaliando conjuntamente as duas áreas, estas demonstraram que o georreferenciamento das amostras do Fator de Conversão não se justifica quando utilizamos densidades amostrais de 3 amostras por hectare ou superiores. Na Área 1 não houveram diferenças significativas a 5% de probabilidade entre as densidades amostrais, porém na Área 2, somente as densidades de 1, 3, 5, 10, 15 e 20 amostras ha⁻¹ proporcionaram mapas de produtividade em quilos de café beneficiado sem diferenças significativas a 5% de probabilidade.

AGRADECIMENTOS

À Máquinas Agrícolas Jacto S/A pelo apoio neste experimento e aos Srs. José Luiz Burguetti e Rui Bonini pela concessão das áreas experimentais.

REFERÊNCIAS

- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; NOVAK, J. M.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, sept. 1994.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2014 **Café: Safra 2014**. Brasília, 2014. 67 p. (Segundo Levantamento, maio/2014).
- CRESSIE, N.; LAHIRI, S.N. **Asymptotics for REML estimation of spatial covariance parameters**. Journal of Statistical Planning and Inference, v.50, p.327-341. 1996.
- DIGGLE, P.J.; RIBEIRO JÚNIOR, P.J. Model based geostatistics. Caxambu: ABE, 2000. 129 p.
- KITANIDIS, P.K.; SHEN, K.F. **Geostatistical interpolation of chemical concentration**. Advances in Water Resources, v.19, n.6, p.369-378, 1996.
- PEZZOPANE, C.G, **Influências ambientais e de variabilidade genética no rendimento intrínseco do café**. 2003. 49 p. Dissertação (mestre), Instituto Agrônômico de Campinas, Campinas, 2003.
- R Development Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- RENA, A. B. **Café: Maturação uniforme**. Cultivar, 28: 24-25, 2001.
- RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1986. cap. 2. p. 13-85.
- SARTORI, S.; FAVA, J. F. M.; DOMINGUES, E. L.; RIBEIRO FILHO, A. C.; SHIRAI, L. E. Mapping the spatial variability of coffee yield with mechanical harvester. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE AND NATURAL RESOURCES, 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** St. Joseph: ASAE, 2002. p. 196-205.
- SILVA, F. M. da; SOUZA, Z. M. de; ARRÉ, T. J.; JUAN, R. S.; OLIVEIRA, E. de. **Avaliação da colheita mecanizada do café com o uso do Ethepon**. Coffee Science, Lavras, v. 1, n. 1, p. 1-6, abr./jun. 2006
- TUKEY, J.W. **Exploratory data analysis**. Reading: Addison-Wesley, 1977. 1v.
- VENABLES, W. N.; RIPLEY, B. D. **Modern applied statistics with S**. 4th ed. New York: Springer, 2002. 495 p.