

ESTUDO DA ESPACIALIDADE DA MATURAÇÃO DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) VISANDO A CONFECÇÃO DE MAPAS DE PRODUTIVIDADE

G.D.C. FAULIN¹; J.P. MOLIN²; R.P. MAGALHÃES¹; W.M. STANISLAVSKI³

RESUMO

A cultura do café apresenta desuniformidade na maturação dos seus frutos dificultando a obtenção de dados corretos, tanto na medição de peso como de volume visando o mapeamento da produtividade, uma vez que se deseja expressar o mapa de café seco e descascado em condições de comercialização. Esta situação é influenciada pelo microclima, sistema de cultivo e inúmeras outras variáveis que apresentam diferenças espaciais. Partindo desta premissa foi avaliado um conjunto de amostras georreferenciadas de indicadores da maturação dos frutos de café, cultivar Mundo Novo, objetivando, além da constatação das diferenças espaciais entre os estágios de maturação, 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. Observou-se que para o conjunto de dados estudado não houve influência da variabilidade espacial do fator de transformação na qualidade da informação do mapa de café seco e descascado, indicando também que não é necessária uma malha amostral densa de indicadores de maturação, já que uma amostra composta resultou em alta correlação com mapas em diferentes densidades amostrais.

PALAVRAS-CHAVE: VARIABILIDADE ESPACIAL, GRADE AMOSTRAL, MONITOR DE PRODUTIVIDADE.

SPATIAL DISTRIBUTION OF COFFEE (*Coffea arabica* L.) MATURITY FACTOR USED ON YIELD MAPPING

SUMMARY

Coffee maturation in the field is not uniform and it may affect the result of a yield map as the data is collected from weight or volume of field coffee where maturation is not considered. Spatial maturation differences are caused by local microclimatic characteristics, managing system and several other variables. This study was conducted collecting a set of samples for analyzing maturation spatial behavior in a coffee field to identify variability and determine if it is necessary to consider the spatial changes in the index that transform field data to processed commercial coffee. Distinct densities of data promoted no significant changes on the yield map and high correlation between the map with an average transformation factor and several grid sampling densities allow to conclude that for the set of analyzed data it is not necessary to consider the spatial variability of coffee maturity factor to generate a yield map measured from volume of field coffee.

KEYWORDS: SPATIAL VARIABILITY, GRID SAMPLING, YIELD MONITOR

INTRODUÇÃO

O rendimento da lavoura de café, segundo PEZZOPANE (2003), é influenciado 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 no estágio entre passa e seco. Tais

¹ Engº Agrônomo, Mestrando em Máquinas Agrícolas, Depto. de Engenharia Rural, ESALQ/USP, Av. Pádua Dias, 11, Caixa Postal 9, 13.418-900, Piracicaba – SP, e-mail: gfaulin@esalq.usp.br.

² Engº Agrícola, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia Rural, ESALQ/USP, Piracicaba – SP.

³ Engº Agrônomo, Máquinas Agrícolas Jacto S.A.

modificações são atribuídas, provavelmente, a diferentes concentrações de água no fruto durante o processo de maturação.

As diferenças da maturação também se associam à época de maior umidade, manejável em sistemas irrigados (OLIVEIRA, 2003), ao clima (CAMARGO & CAMARGO, 2001) e a muitas outras variáveis, as quais podem apresentar desuniformidade espacial, influenciando para que a maturação não seja uniforme. Em relação a esta uniformidade, segundo NASCIMENTO (2002), o cafeeiro quando cultivado em condições sombreadas apresentou menos diferenças em sua maturação quando comparado a aquele cultivado a pleno sol.

A desuniformidade da maturação é um fator comum em cultivos comerciais, sendo que devido a esta característica, a confecção de mapas de produtividade torna-se mais complexa, uma vez que os diferentes materiais colhidos precisam ser uniformizados para expressar a produção comercializável, ou seja, os grãos de café seco e descascado. Como a proporção entre os diferentes estágios de maturação muda em relação ao local amostrado, o coeficiente de transformação de volume de grãos colhidos para peso de grãos beneficiados também tende a mudar espacialmente. É possível considerar tal variabilidade em um mapa de produção, o que implica no desenvolvimento de técnicas de amostragem e processamento rápido, ou mesmo sensores para a classificação do estágio de maturação das amostras.

Este trabalho objetivou estudar a variabilidade espacial dos indicadores da maturação do café na sua colheita e o estabelecimento da necessidade de se considerar a espacialização do coeficiente de transformação de produto colhido para beneficiado, além da determinação da densidade de amostras georreferenciadas mínima para se considerar as diferenças espaciais do estado de maturação dos grãos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foi avaliado um conjunto de amostras coletado durante a colheita mecanizada com uma colhedora Jacto modelo K-3 equipada com um protótipo de monitor de produtividade, como descrito por SARTORI et al. (2002). O monitor utiliza um sensor de volume, portanto há a necessidade da conversão dos valores de volume colhido e medido para peso de café beneficiado, ou seja, seco e descascado. Sendo assim, foram coletadas 178 amostras ao longo de um talhão de 8,3 ha, localizado na fazenda São Carlos, município de Gália, SP, o qual é cultivado a pleno sol com café variedade arábica, cultivar Mundo Novo. O solo no local é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo álico, distrófico, A fraco, bem drenado e o relevo é caracterizado como suave ondulado.

Cada amostra foi representada pelo volume de 1 L e foram coletadas e georreferenciadas com DGPS por ocasião da colheita com espaçamento previamente estabelecido para garantir a densidade amostral desejada. Imediatamente após a coleta cada amostra foi classificada visualmente em quatro classes de maturação: grãos secos, passa, cereja e verdes. Posteriormente todas as amostras foram dispostas para secagem ao ar e processadas, e foram medidos os pesos e volumes de cada classe. Cada classe foi expressa como percentual do total da amostra como relação de peso e de volume. Dessa forma foi possível produzir a espacialização de cada classe de maturação e também calcular o fator que expressa a transformação de café de campo para café beneficiado, além do mapa de volume de café de campo obtido pelo sensor do monitor de produtividade. Foram obtidos os fatores de peso e volume para cada classe de maturação e peso e volume total de cada amostra.

Os dados foram submetidos a uma análise estatística descritiva para caracterizar as amostragens e posteriormente para cada fator foram obtidos os semivariogramas construídos no programa Variowin 2.2[®] visando analisar o comportamento de cada um deles relacionado às suas continuidades espaciais. A partir desta análise definiram-se os parâmetros dos semivariogramas entre uma amostra e outra, e dentre eles o alcance que auxilia na definição da separação mínima.

Na sequência foram raleados os dados a partir da remoção de amostras obtendo-se as densidades amostrais de: 15,50; 7,75; 4,00; 2,00; 1,00; 0,50; e 0,25 amostras por hectare, além da simulação da condição de uma amostra composta, neste caso representada pela média de todas as 178 amostras. Objetivou-se com isso correlacionar o resultado da interpolação dos fatores e da produtividade nestas diferentes densidades amostrais com aquele da amostragem maior, antes do raleamento. Para tanto, em cada densidade amostral foi obtido o fator de transformação de café de campo para café beneficiado e o seu correspondente mapa de produtividade utilizando o interpolador inverso da distância com o auxílio do sistema de informação geográfica dedicado à agricultura de precisão SSTollbox (SST Development

Group®). As correlações entre os diferentes mapas foram obtidas a partir dos valores de cada célula gerada na interpolação, utilizando o programa STATISTICA®.

Além disso, abordou-se a simulação de uma amostra composta por sub-amostras constituídas pela amostragem original. Dessa forma simulou-se diferentes tamanhos de sub-amostragem para a composição dessa amostra, acompanhada de uma análise estatística para indicar o efeito da sua composição.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 é apresentada a síntese da estatística descritiva dos fatores e classes de maturação, bem como os dados de produtividade medida em volume de café de campo.

TABELA 1 – Síntese da estatística descritiva dos dados de produtividade obtidos com o monitor experimental e dos fatores e classes de maturação das amostras coletadas.

Parâmetro	Produtividade (L.ha ⁻¹)	Fator de transformação	Classe de maturação							
			Verde		Passa		Seco		Cereja	
			Peso (g)	Volum e (cm ³)	Peso (g)	Volum e (cm ³)	Peso (g)	Volum e (cm ³)	Peso (g)	Volum e (cm ³)
Nº amostras	1.044	178	178	178	178	178	178	178	178	178
Média	20.443	7,8	9,5	10,9	79,0	177,6	35,3	89,9	360,2	636,4
Máximo	29.798	9,0	190	90	216	480	93	240	455	810
Mínimo	6.695	6,7	0	0	24	55	8	24	181	310
Desvio Padrão	4.583	0,5	16,7	18,9	30,5	67,4	17,8	45,2	54,5	91,4
C.V. (%)	22,4	5,9	175,9	172,5	38,6	37,9	50,4	50,3	15,1	14,4

Observa-se que os dados de peso e volume dos frutos da classe verde, passa, seco e cereja comportaram-se de forma diferenciada, tanto em relação aos fatores de posição, ilustrados pela média, quanto aos fatores de dispersão, melhor ilustrados pelo coeficiente de variação em porcentagem. Estes resultados apontam para um estado de maturação por ocasião da colheita, generalizadamente desuniforme.

Na Tabela 2 são apresentados os parâmetros dos semivariogramas de todos os componentes das diferentes classes de maturação expressas em peso e em volume, bem como do fator de transformação de volume de café de campo para peso de café beneficiado.

TABELA 2 – Parâmetros dos semivariogramas experimentais referentes às classes de maturação das amostras, ajustados pelo modelo esférico.

Parâmetro	Classe de maturação								Fator de transformação
	Verde		Passa		Seco		Cereja		
	Peso	Volume	Peso	Volume	Peso	Volume	Peso	Volume	
	(g)	(cm ³)	(g)	(cm ³)	(g)	(cm ³)	(g)	(cm ³)	
Alcance (m)	29,6	39,2	68,9	68,1	152,6	149,2	100,1	26,0	164,0
Patamar γ(h)	318,54	352,76	1.013,6	5.059,5	328,8 ₁	2.119,2	3.180	8.568	0,22499
Pepita γ(h)	78,39	248,37	632,3	3.035,7	230,6 ₃	1.473,2	2.550	4.368	0,182

Da mesma forma que os diferentes fatores que expressam os estágios de maturação apresentaram comportamentos distintos demonstrados pela estatística clássica, pela geostatística estas diferenças também foram comprovadas, identificando que tais fatores variam espacialmente. Pelos dados de alcance observa-se que a menor distância até onde existe dependência espacial entre os dados é de 26,0 m para o fator volume referente aos frutos cereja. Os valores mostram que os dados se comportaram de forma diferenciada espacialmente em relação a cada um dos estágios de maturação. O semivariograma relativo ao fator de transformação de café de campo para café beneficiado apresentou alcance grande (164,0 m), mostrando deste modo a possibilidade de se fazer uma amostragem pouco densa e ainda assim identificar a sua continuidade espacial.

As Figuras 1 e 2 ilustram as diferenças espaciais da participação na maturação para cada classe expressa como percentual do peso e volume do total das amostras obtidas ao longo do talhão.

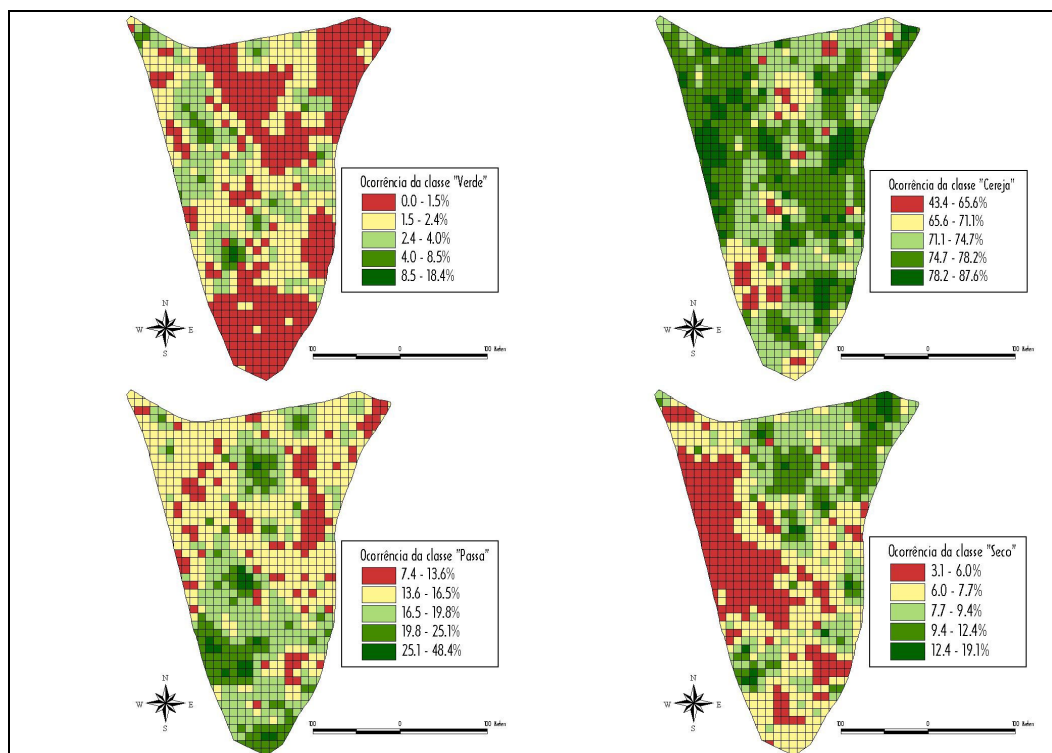


FIGURA 1 – Mapas da participação proporcional de cada classe de maturação expressa como percentual do peso do total das amostras obtidas.

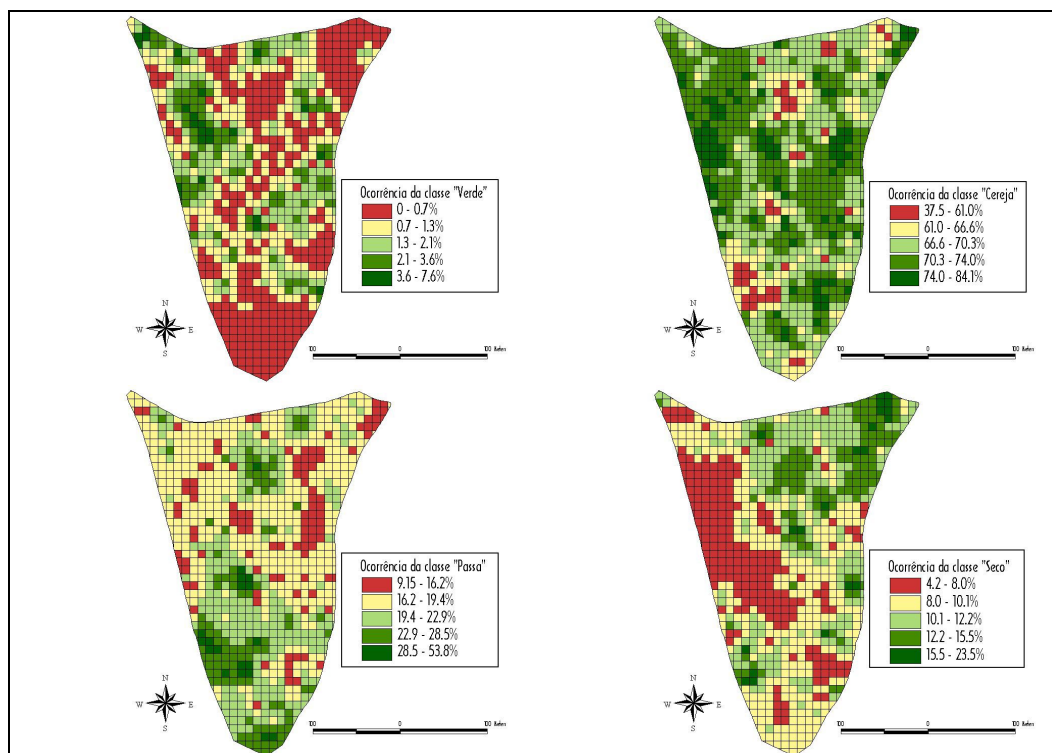


FIGURA 2 – Mapas da participação proporcional de cada classe de maturação expressa como percentual do volume do total das amostras obtidas.

A Figura 3 apresenta os mapas de produtividade de café beneficiado gerados a partir dos dados de produtividade medida em volume pelo monitor experimental e os fatores de transformação obtidos com diferentes densidades amostrais. Tais mapas evidenciam que as diferenças entre os mapas com fatores de transformação com densidade amostrais distintas são muito pequenas. Essas pequenas diferenças indicam que os mapas resultantes são similares, com variações pouco relevantes, o que não justifica a necessidade de uma grade amostral densa para se caracterizar a variabilidade espacial da maturação desta lavoura, uma vez que a amostra única composta gerou um mapa muito parecido com aqueles gerados pelas diferentes densidades amostrais.

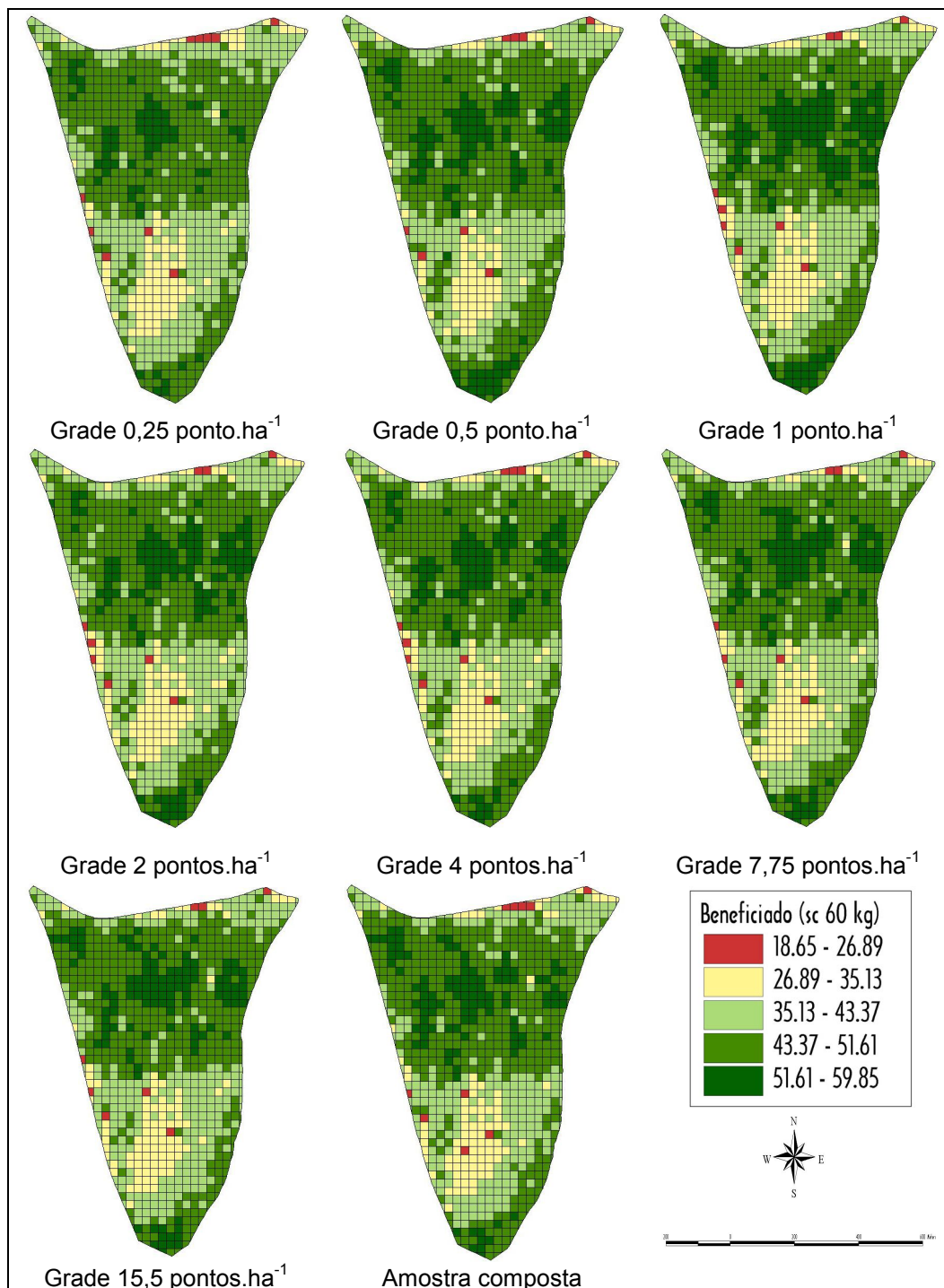


FIGURA 3 – Mapas de café beneficiado gerados a partir dos dados de campo obtidos com o monitor experimental e medidos volumetricamente, utilizando fatores de transformação obtidos com diferentes densidades amostrais e também por um valor médio a partir de uma amostra composta.

A Figura 4 ilustra o ajuste através de regressão polinomial dos valores de coeficiente de correlação entre os mapas de produtividade elaborados com as diferentes densidades de pontos e aquela

amostragem padrão para a geração do fator de transformação de café de campo para café processado, com 21,5 amostras por hectare. Observa-se que os valores de correlação são elevados e fortalecem a indicação de que a amostragem feita com baixas densidades de amostras não prejudicou a qualidade da informação contida nos mapas a ponto de justificar o custo envolvido na coleta e beneficiamento de amostras em grande quantidade. Além disso, o coeficiente de correlação entre o mapa obtido a partir do fator de transformação espacializado das 178 amostras e aquele obtido utilizando-se apenas um fator de transformação, relativo a média de todas estas, foi de 0,9833.

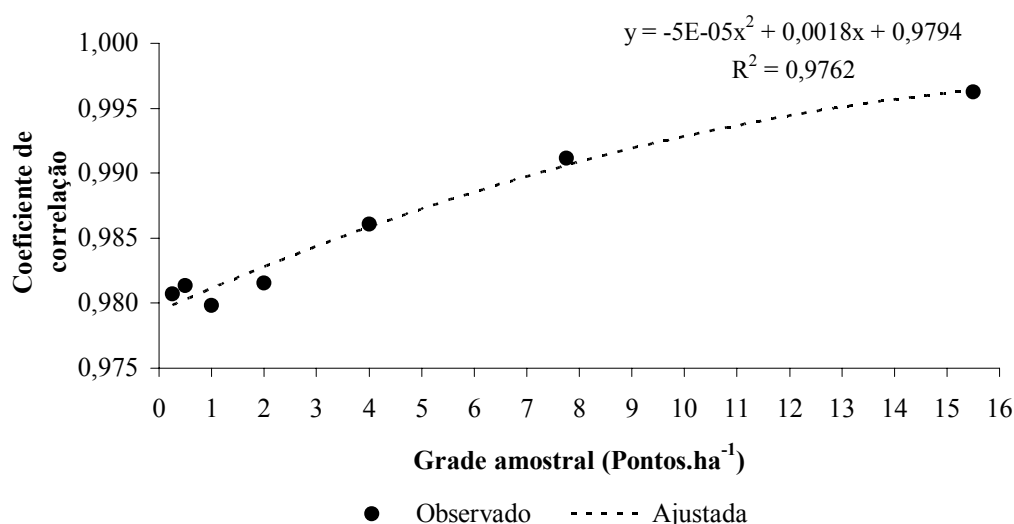


FIGURA 4 – Regressão polinomial dos valores de coeficiente de correlação entre os mapas de produtividade elaborados com as diferentes densidades de pontos e a amostragem máxima para definição do fator de transformação de café de campo para café processado.

Sendo assim, a partir das 178 amostras simulou-se a composição de uma amostra única considerando-as como sub-amostras aleatoriamente distribuídas na lavoura. Para tanto foram simuladas diferentes quantidades de sub-amostras e o resultados da estatística descritiva dessas amostras é apresentado na Tabela 3. O gráfico da Figura 5 apresenta a distribuição dos valores da média e do desvio padrão do fator de transformação, obtidos a partir de diferentes números de sub-amostras, simulado a partir do raleio da amostragem total.

TABELA 3 – Síntese da estatística descritiva para diferentes quantidades de sub-amostras na composição de uma amostra composta.

Parâmetro	Número de subamostras							
	2	4	8	16	32	64	128	178
Média	7,86	7,68	7,75	7,81	7,79	7,78	7,82	7,78
Máximo	8,00	8,00	8,74	8,74	8,74	8,74	8,97	8,97
Mínimo	7,71	7,46	7,12	7,12	7,03	7,03	6,72	6,67
Desvio Padrão	0,21	0,24	0,47	0,43	0,43	0,42	0,44	0,46
C.V. (%)	2,61	3,12	6,13	5,56	5,50	5,39	5,63	5,92

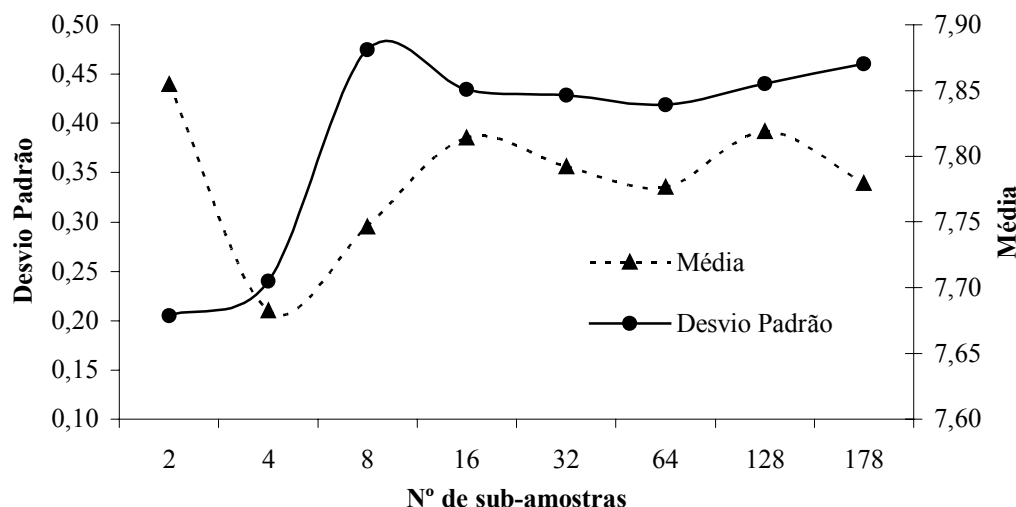


FIGURA 5 – Comportamento da distribuição dos valores da média e do desvio padrão do fator de transformação, obtidos a partir de diferentes números de sub-amostras.

O valor médio do fator de transformação de café de campo medido em volume e café processado, expresso em peso, para os números de sub-amostras que compõem uma amostra composta, apresentou pouca variação. Há uma região de instabilidade, até aproximadamente 16 sub-amostras, o que corresponde a aproximadamente duas sub-amostras por hectare e a partir desse valor tanto a média quanto o desvio padrão tendem a estabilizar-se. Para o conjunto de dados analisados, uma amostra composta com essa densidade (duas sub-amostras por hectare) demonstra representar o fator de transformação de café de campo para café beneficiado.

CONCLUSÕES

As análises estatísticas e geoestatísticas dos dados de amostragem para a caracterização da distribuição espacial da maturação da lavoura de café mostram que os diferentes estágios de maturação que compõem a produção deste talhão apresentam comportamentos distintos. Apesar deste comportamento, observou-se que a qualidade dos mapas de produtividade de café seco e descascado não sofreu influência da variabilidade espacial destes fatores, o que não justificaria obter amostras georreferenciadas neste talhão.

O fator de transformação do café de campo para o café beneficiado a partir das várias densidades amostrais se comportou de forma semelhante, com alta correlação entre os mapas de produtividade de café processado obtidos a partir das diferentes densidades amostrais e aquele obtido com uma amostra composta única, justificando utilizar uma amostra composta para a transformação de dados de café de campo para café seco e descascado. Para a coleta de uma amostra composta poderia ser utilizado o critério de duas sub-amostras por hectare.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. Nota. Bragantia, Campinas; 60(1), p. 65-68, 2001.
- NASCIMENTO, E.A. do. Comportamento ecofisiológico do cafeeiro e seringueira em diferentes sistemas de cultivo, dissertação (mestre), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.
- OLIVEIRA, L.A.M, Desenvolvimento vegetativo e reprodutivo do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) irrigado em diferentes épocas do ano, dissertação (mestre), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

PEZZOPANE, C.G, Influências ambientais e de variabilidade genética no rendimento intrínseco do café, dissertação (mestre), Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2003.

SARTORI, S., Mapping the spatial variability of coffee yield with mechanical harvester. Proceedings of the World Congress of Computers in Agriculture and Natural Resources, ASAE, p. 196-200, 2002.