

13. VARIABILIDADE ESPACIAL DA QUALIDADE DE CULTURAS AGRÍCOLAS

Enrique Anastácio Alves

Embrapa Rondônia

Introdução

O tema qualidade dos produtos agrícolas tem sido muito debatido e exigido pelas instituições de comércio e pesquisa ligadas ao agronegócio. Pois, consiste em uma forma de incremento ao preço final do produto e da oportunidade de criar novos mercados, mantendo-se os já conquistados. Estudos têm detectado a necessidade de entender que fatores inerentes à produção, que interferem em aspectos qualitativos dos produtos agrícolas, fazem com que uma planta de características genética idênticas produza com excelente qualidade em um determinado local e não alcance esse mesmo rendimento em outros. Quando se trata de culturas anuais, esses estudos são ainda mais complexos, pois, as mesmas sofrem o efeito do fenômeno da variabilidade temporal de seus atributos que determinam a qualidade e produção. Conhecer os fatores que causam essas variações é de suma importância ao desenvolvimento da agricultura. Uma vez em que esse conhecimento se torna realidade, pode-se prever problemas e potenciais no campo, possibilitando o aprimoramento dos sistemas de produção.

Essa revisão, apesar de sumária, tem o objetivo de demonstrar que existe um grande número de fatores, que variam espacialmente e temporalmente, que podem influir sobre a qualidade dos produtos agrícolas e os mesmos se alteram de acordo as características fisiológicas das plantas e da natureza do produto que se destina coletar delas. Pois, os fatores culturais, sejam eles edáficos, nutricionais, hídricos ou climáticos,

interferem de forma diferenciada sobre a produção de folhas, frutos, sementes e raízes.

Variabilidade espacial

As culturas respondem diferentemente à variabilidade existente em um campo de produção. Desse modo, originam um produto cuja qualidade e quantidade varia de forma espacialmente correlacionada com os fatores produtivos envolvidos. Fatores estes, relacionados principalmente a disponibilidade de nutrientes, suprimento de água e crescimento de raízes. Porém, apesar de vários estudos que demonstram o fenômeno da variabilidade espacial e temporal presentes nas áreas de produção, a agricultura convencional ainda maneja as culturas de forma homogênea (STAFFORD et al., 1996).

Segundo Ortiz (2003), a análise da distribuição espacial das variáveis envolvidas na produção, possibilita a distinção de regiões com menor e maior variabilidade e a geração de mapas de aplicação diferenciada dos insumos agrícolas. Para isso, leva-se em conta a quantidade de nutrientes necessária ao ótimo desenvolvimento das culturas e a quantidade disponível em diferentes áreas do talhão (variabilidade espacial), promovendo maior eficiência no uso de recursos.

O acompanhamento das condições de campo, juntamente com um levantamento das características topográficas, edáficas e de orientação das culturas com relação à captação da luz solar na área de produção, poderá levar a um melhor entendimento dos fatores que determinam a qualidade, e assim, ao desenvolvimento de técnicas que possam ser usadas para melhorá-la. O conhecimento da variabilidade espacial e temporal da qualidade dos produtos agrícolas pode ter um grande peso na tomada de decisão nos sistemas de produção, uma vez que, a qualidade do produto final tem grande influência no seu preço e pode ser determinante para o sucesso do empreendimento agrícola.

Existem estudos demonstrando que características que variam espacialmente, tais como, microclimáticas e topográficas, interferem na qualidade de bebida do café. Segundo Buenaventura e Castaño (2002) e Guyot et al. (1996), áreas de maior altitude e sob sombreamento retardam a maturação e favorecem o aumento da acidez e dos teores de açúcares nos frutos. Cordero et al. (2008) demonstraram que tanto a altitude da lavoura quanto o tipo de cultivar afetaram a densidade de bactérias endofíticas nos frutos. Estes autores indicam a possibilidade de um papel funcional dessa microbiota, como produtoras de substâncias precursoras das características sensoriais da bebida do café.

Neste contexto, a agricultura de precisão, que é o manejo dos fatores de produção de forma localizada, levando-se em consideração a sua variabilidade, pode ser uma ferramenta importante na busca pela excelência na produção no campo. Nesse tipo de agricultura, as informações pontuais obtidas podem gerar mapas de distribuição espacial dos atributos relacionados ao solo e às plantas. De posse destes mapas, é feita a prescrição das taxas de insumos e técnicas de manejo a serem realizados, atendendo

às exigências da cultura, no momento, local e quantidade adequados.

Definição de Zonas de Manejo

Um dos problemas-chaves da agricultura de precisão é a necessidade de uma grade de amostragem densa, a fim de detectar a variabilidade espacial do atributo em estudo e possibilitar a geração de mapas que representem de forma real tal área. Uma das soluções para este problema vem sendo a geração de zonas de manejo.

Uma zona de manejo é definida como uma sub-região do campo que apresenta uma combinação de fatores limitantes de produtividade e de qualidade da produção para a qual se pode aplicar uma dose uniforme de insumos. A definição de zonas de manejo torna mais fácil a aplicação das técnicas de agricultura de precisão, uma vez que se podem empregar os mesmos sistemas utilizados na agricultura convencional no manejo das culturas.

A experiência dos produtores foi extremamente importante no desenvolvimento da agricultura. Eles sabem identificar quais áreas de uma cultura apresentam maiores e menores rendimentos. O uso desta base de conhecimento pode permitir a identificação de diferentes zonas de manejo com base no histórico da produção (FLEMING et al., 2000).

Para a geração de zonas de manejo existe a necessidade da compreensão do espaço e da maneira como os fatores se distribuem ao longo dele, sendo que, uma ferramenta que vem sendo utilizada para determinar estes padrões de distribuição espacial é a geoestatística. A estatística clássica assume que as amostras são independentes entre si e, portanto há igual probabilidade de ocorrência. Na geoestatística as amostras são dependentes da posição espacial e, portanto não há igual probabilidade de ocorrência para todos os pontos amostrados. A geoestatística aplicada aos dados que foram coletados em pontos cujas coordenadas são conhecidas, dentro da área, possibilita a obtenção da estrutura da variância dos dados (GONÇALVES et al., 2001).

Análise Geoestatística

A aplicação das técnicas geoestatísticas dos dados georreferenciados normalmente segue as seguintes etapas: estatística descritiva e exploratória, semivariograma, Krigagem (interpolação dos dados) e validação cruzada.

A análise descritiva e exploratória dos dados precede a análise geoestatística, sendo importante para o desenvolvimento da modelagem espacial. Pois, esta análise é muito sensível à presença de valores espúrios e à ausência de estacionariedade.

A dependência espacial é analisada por meio de ajuste de semivariograma (VIEIRA et al., 1983), com base nas pressuposições de estacionariedade da hipótese intrínseca, estimado por:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i) - Z(X_i + h)]^2$$

Em que, $\hat{\gamma}(h)$ é a semivariância, $N(h)$ é o número de pares de pontos medidos $Z(x_i)$, $Z(x_i + h)$, separados por um vetor h . O gráfico de $\hat{\gamma}(h)$ versus os valores correspondentes de h é denominado semivariograma.

Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de $\hat{\gamma}(h)$ são definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita, C_0 ; variância estrutural, C_1 ; patamar, $C_0 + C_1$; e o alcance, a).

O efeito pepita é o valor da semivariância para distância zero e representa o componente da variação ao acaso; o patamar é o valor da semivariância em que a curva estabiliza sobre um valor constante; o alcance é a distância da origem até o ponto em que a semivariância atinge valores estáveis, expressando a distância além da qual as amostras não são correlacionadas. Com base nos parâmetros mencionados acima são escolhidos os modelos que melhor explicam a variação dos dados que podem ser: esférico, exponencial, gaussiano e linear.

Uma forma de determinação do grau de dependência espacial é a realizada segundo Cambardella et al. (1994). Estes autores, estudando o comportamento de inúmeros semivariogramas, determinaram faixas de dependência espacial que permitem verificar o grau de dependência espacial de determinada variável em função da relação existente entre o intercepto ou efeito pepita (C_0), que é o baixo valor do semivariograma, o patamar parcial (C_1) e o patamar (C_0+C_1), que é o valor da semivariância que tende a se estabilizar. Sendo assim, o índice de dependência espacial (IDE) é calculado pela relação $[C_1/(C_0+C_1)]*100$, e classificado segundo o padrão que considera dependência espacial fraca ($IDE < 25\%$); moderada ($25\% \leq IDE \leq 75\%$) e forte ($IDE > 75\%$).

Após a análise da estrutura espacial das amostras das características avaliadas são definidos os modelos dos semivariogramas para krigagem (interpolação) e elaboração dos mapas. A etapa chamada de Krigagem fornece estimativas não tendenciosas e com variâncias mínimas para os pontos não amostrados. Nesta etapa o procedimento é semelhante ao de interpolação por média móvel ponderada, porém com pesos determinados a partir de uma análise espacial baseada no semivariograma. Os ponderadores de dados na etapa de Krigagem levam em conta além da distância euclidiana entre as amostras também a variabilidade estatística dos dados (semivariância e covariância) na região de estimação.

Após a Krigagem é realizada a validação cruzada e os testes para avaliar o grau de incerteza sobre as hipóteses assumidas, os modelos selecionados, os valores dos parâmetros ajustados e a qualidade da krigagem. Segundo Isaaks e Srivastava (1989), na etapa de validação cruzada, cada ponto medido é excluído e seu valor é estimado levando-se em conta os dados restantes.

Geração de mapas

Esta é a materialização, na forma visual, de como os fatores estudados se distribuem espacialmente. É importante ressaltar que estes mapas só tem validade se for comprovada a existência da dependência espacial determinada por meio das análises de geoestatística. Caso não exista a dependência espacial, não é possível realizar a interpolação dos pontos amostrados, pois, a distribuição dos mesmos é aleatória.

Preliminarmente à geração dos mapas, é importante determinar o número de classes de cada atributo e os intervalos pertencentes a cada uma. Quando não se conhece a priori o intervalo entre classes do atributo com o qual se está trabalhando, isso pode ser definido por meio da análise de dendrogramas e o método “K Means” para determinar o número de classes e os membros constituintes de cada uma, para cada atributo estudado. A partir dos mapas gerados pode-se realizar a análise entre a similaridade para os mapas dos diferentes atributos, definir zonas de manejo e até mesmo intervenções no campo de produção como, por exemplo, uma recomendação diferenciada para correção do solo.

Técnicas para análises de agrupamentos de dados têm sido usadas para a delimitação de zonas de manejo, possibilitando o uso de um conjunto de fatores proeminentes do desenvolvimento das culturas, podendo identificar variabilidades nos cultivos. Estas técnicas têm como objetivo maximizar a variância entre os grupos estabelecidos e minimizar a variância dentro de cada grupo. Taylor et al. (2003) utilizaram o algoritmo *K-means* para definir zonas de manejo por meio de dados de produtividade e de condutividade elétrica do solo. Concluíram que tais zonas coincidem com diferenças em níveis de nutrientes do solo, assim é possível formar um banco de dados para realização de uma amostragem mais direcionada.

Este tipo de estudo é interessante, pois, quando os bancos de dados são sobrepostos em uma grade padrão, os dados de diferentes anos e sensores distintos podem ser analisados simultaneamente. Isto permite aos estatísticos a identificação de áreas estáveis e, ou, variáveis na produção das culturas (TAYLOR et al., 2007).

Exemplos de análise espacial de produção e qualidade de produtos agrícolas

Vinicultura de precisão

É de conhecimento secular dos vinicultores que as uvas colhidas em diferentes áreas do vinhedo podem produzir vinhos com sabores distintos. Esse fenômeno é observado mesmo quando os fatores biológicos como variedades e porta enxertos são idênticos. Percebe-se então, que, a qualidade da uva, a maturidade e os vinhos resultantes são influenciados por diferenças em características físicas e microclimáticas do vinhedo.

Em determinadas regiões da França, as uvas são cultivadas por mais de 1700 anos, e os vinicultores destes locais tiveram então tempo suficiente para compreender como o “vintage” variava nos seus vinhedos, e geralmente, os limites do campo foram estabelecidos segundo esse critério de referência de qualidade.

Vale do Napa - Califórnia

O Vale de Napa na Califórnia, que começou o desenvolvimento da vinicultura em meados de 1960, é caracterizado pelos campos relativamente grandes que abrangem características físicas constantes. Os produtores tendem a tratar o bloco inteiro como uma “unidade mínima da gerência” para o cultivo e colheita. Entretanto, existe nessa região um projeto de segmentação da colheita nessas áreas usando imagens aéreas multiespectrais. A ideia é dividir estas áreas pelo vigor das uvas e avaliar os vinhos resultantes (JOHNSON et al., 2001).

Nessa região foi escolhido um bloco de 3 ha cultivado com a variedade Chardonnay, plantada em 1991. Esta área pertence à vinha de Carneros do Mondavi, localizada ao sudoeste da cidade de CA de Napa. Esse vinhedo foi plantado no sistema vertical de multi-fios (espaldeira). A qualidade do clone utilizado nessa área é alta, mas historicamente tem produzido um vinho de baixa qualidade.

Foi então utilizada uma imagem de satélite da área, que foi pré-processada e classificada segundo o índice de vegetação (NDVI). De posse dessa imagem foi realizada a análise do campo para um processamento assistido, sendo então a imagem da área do vinhedo classificada em três níveis de densidade ou vigor das plantas (alto, médio e baixo), como pode ser visualizado na Figura 1.

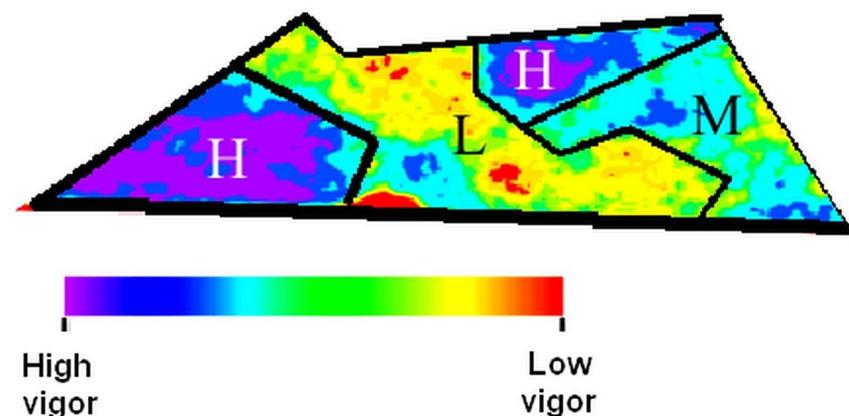


Figura 1. Zonas de manejo definidas na área estudada segundo a técnica de sensoriamento remoto e utilizando-se processamento assistido das imagens após a pré-classificação pelo NDVI. Zonas de vigor alto (H), moderado (M) e baixo (L). Fonte: Johnson et al. (2001).

Em seguida, o vinho produzido das uvas provenientes de cada uma dessas áreas “zonas de vigor” foi marcado e teve a sua qualidade analisada segundo sua qualidade. O teste mostrou diferenças significativas entre os lotes de baixo e moderado vigor, e entre os lotes baixo e alto. Não houve diferença significativa entre os lotes alto e moderado (Tabela 1). Na avaliação de qualidade pelos produtores de vinho (Tabela 2) as áreas de vigor baixo e moderado foram julgadas ser de “Reserve”, alta qualidade. E a área de alto vigor foi considerada “district” de qualidade mais baixa.

Esses resultados demonstram que existe variabilidade espacial de atributos que influenciam o desenvolvimento da videira e, por consequência, dos seus frutos. Nota-se que as áreas de menor vigor (dossel sem excesso de folhas) têm produzido vinhos “Reserve” de melhor qualidade. Uma área com muito enfolhamento pode evitar que a luz solar chegue aos frutos na quantidade necessária para um desenvolvimento e maturação dos frutos a contento, prejudicando as características intrínsecas a qualidade do produto, como cor, sólidos solúveis e por fim o “flavor” do vinho.

A partir desses resultados poder-se-ia indicar aos vinicultores práticas culturais, como podas e cortes dos ramos excessivos, e uma adubação talvez menos abundante em nitrogênio. Isto indica a formação de “zonas de manejo” que poderiam ser mais bem estudadas quanto as suas características microclimáticas e de solo.

Tabela 1. Diferenças entre os vinhos produzidos pelas zonas de manejo de diferente vigor determinada por uma banca com 15 enólogos (JOHNSON et al., 2001)

Comparação entre as zonas	Diferença	Nível de significância
Baixo x moderado	Sim	P<0,05
Baixo x alto	Sim	P<0,10
Moderado x alto	Não	

Tabela 2. Programação para os vinhos produzidos em cada zona de manejo determinado por um etnólogo “expert” a mando dos vinicultores (JOHNSON et al., 2001)

Zona	Programação
Baixa	Reserve
Moderada	Reserve
Alta	District

Austrália

A influência da variabilidade espacial em índices de qualidade do vinho tem sido estudada, sobre os aspectos do “vintage”, em áreas selecionadas cultivadas com Cabernet Sauvignon e Ruby Cabernet em Coonawarra (1999–2002) e Sunraysia (2000–2002), Austrália. Esses estudos têm demonstrado, em ambos locais, o quão promissor é análise da variabilidade espacial e temporal na qualidade da uva e posteriormente do vinho produzido.

Bramley e Hamilton (2004) demonstraram que o padrão de variabilidade temporal da produtividade dentro de uma vinha pode ser bastante estável. Sendo que esse

poderia até ser um critério para determinar zonas de manejo quanto aos tratamentos culturais como poda e adubação. Entretanto, estes autores argumentam que esse delineamento de “zonas de manejo” baseado unicamente nos rendimentos das videiras pode não ser coerente. Isto porque, se padrões de variação em rendimento forem combinados com os de variação em qualidade, então, a gerência das vinhas tornar-se-ia um problema muito simples. Por outro lado, em situações nas quais estes padrões não combinem, e isto é muito comum, pode ser indesejável focalizar em rendimento à custa de qualidade, e vice-versa.

Partindo da necessidade de se conhecer melhor esse fenômeno da qualidade, esses autores iniciaram um trabalho, de resultado no mínimo interessante, em dois vinhedos australianos. Em termos da variação intra-anual, alguns índices, por exemplo, dos Fenóis, tenderam a ser mais variáveis do que outros, tais como, Baumé ou maturação, quando expressados nos termos de seus coeficientes de variação (CVs) (Tabela 3). Segundo os autores esses resultados em comparação com trabalhos passados, levam a concluir que a variação na qualidade da fruta na colheita é consideravelmente menor do que a variação no rendimento. Ao se comparar os dados da Tabela 3 ter-se-á uma noção dessa diferença entre as variabilidades, pois, para o rendimento os autores encontraram CV de 40%.

O CV fornece um índice da variação bruta que é significativa aos cientistas, mas que pode facilmente disfarçar a quantidade real de variação que, neste caso, o vinicultor tem que trabalhar na prática. Assim, a escala (“Range”), diferença entre o máximo e o mínimo, usada na Tabela 3, pode ser um indicador mais útil da variação bruta dos parâmetros estudados.

A variação em todos os índices medidos pareceu mostrar estrutura espacial definida para ambos os locais, Sunraysia (Figura 2) e Coonawarra (Figura 3). No entanto, quando a magnitude destes efeitos espaciais foi avaliada usando o índice de Cambardella et al. (1994), para a maioria dos atributos das frutas medidos foi atribuído um grau moderado de dependência espacial, isso é, a relação entre o efeito pepita e o patamar estava entre 26 e 75. Isso destaca o efeito relativamente grande de pepita nos dados de qualidade de fruta tanto para Coonawarra como Sunraysia.

Foi realizada também a análise da aglomeração dos índices de qualidade e produtividade “K-means clustering”, para os dois locais. A título de exemplo serão demonstrados apenas os resultados da área de Sunraysia (Figura 4). Os resultados demonstraram que alguns índices tiveram padrão de aglomeração muito semelhante, como cor e fenóis dos frutos. Em contrapartida nota-se que existe bastante variação para a maturação.

É interessante também notar que existe uma relação demonstrada pela junção dos mapas de fenóis e cor e pela comparação com o mapa do peso das bagas de frutos. Pode-se inferir que existe na área um lugar muito peculiar do ponto de vista da qualidade, onde se encontram frutos menores e com altos níveis de fenóis e açúcares. Estes resultados corroboram com os apresentados anteriormente para os vinhedos de Napa na Califórnia, onde as áreas menos vigorosas tenderam a produzir melhores vinhos. Na Austrália, frutos menores se mostraram de melhor qualidade quanto a cor

e doçura dos mesmos.

Tabela 3. Resumo estatístico dos índices de qualidade selecionados no estudo da variabilidade temporal (BRAMLEY; HAMILTON, 2004)

Atributo	Ano	Coonawarra Carbernet Sauvignon				Sunraysia Ruby Carbernet			
		Mediana	Alcance	CV %	Spread ¹	Mediana	Alcance	CV %	Spread ¹
Densidade (Baumé)	1999	14.6	13.4-15.6	2.8	15.1				
	2000	13.2	12.1-14.0	2.6	14.4	13.2	10.9-15.7	5.5	36.6
	2001	13.3	11.4-14.7	3.9	24.8	13.7	12.2-14.5	2.8	16.7
	2002	14.3	12.9-15.8	4	20.7	14.8	12.0-17.3	6.8	35.7
pH do suco	1999	3.65	3.29-4.22	5.2	25.5				
	2000	3.66	3.35-4.39	4.7	28.4	3.91	3.63-4.27	3.2	16.4
	2001	3.51	3.25-3.93	4.3	19.4	3.9	3.64-4.22	2.8	14.9
	2002	3.84	3.44-4.31	4.4	22.7	4.17	3.89-4.48	2.7	14.2
Ácidos Orgânicos Totais (g/l)	1999	5.1	3.30-7.90	15.4	90.2				
	2000	4.9	4.00-6.60	9.8	53.1	4.64	3.36-5.90	10.6	54.8
	2001	5	3.70-7.80	13.4	82	4.13	3.20-5.01	9.4	43.8
	2002	4.8	3.80-6.10	10.7	47.9	5.41	4.18-7.25	9.4	56.8
Antocianina (mg/g)	1999	1.8	1.13-2.89	13.7	97.4				
	2000	1.93	1.23-2.83	15.7	82.6	2.33	1.23-3.07	12.7	78.9
	2001	1	0.58-1.73	18.1	115	2.32	1.69-3.34	14.7	71.1
	2002	2.61	1.06-3.71	21.6	101.3	2.25	1.57-3.45	11.7	83.4
Fenóis (a.u/g)	1999	1.51	1.04-2.32	11	85.4				
	2000	1.66	1.17-2.37	13.5	72.5	1.87	1.30-2.43	11.5	60.8
	2001	0.89	0.45-1.50	19	117.6	1.82	1.52-2.48	10.4	52.6
	2002	1.67	0.88-2.43	13.9	92.4	1.56	1.07-2.20	13.5	72.5
Peso da baga (g)	1999	0.77	0.44-1.27	14.5	109.7				
	2000	0.91	0.35-1.19	15.4	91.8	0.87	0.34-1.24	21.8	103.5
	2001	0.95	0.25-1.35	18.4	116.9	0.8	0.36-1.21	22.3	107.3
	2002	0.68	0.30-0.88	15.7	86	0.91	0.43-1.52	22.8	119.5

¹ Notar que o valor de Spread é a razão entre o alcance sobre o CV e o valor é expresso em percentagem

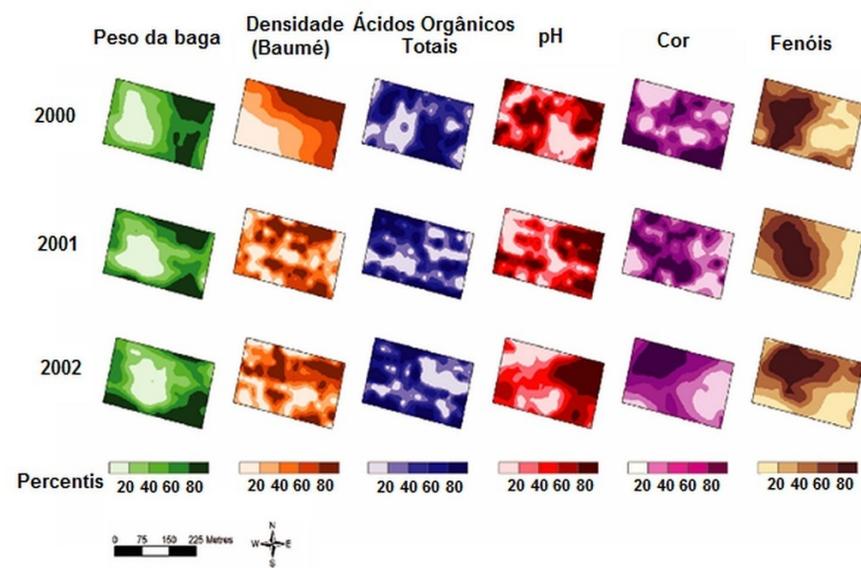


Figura 2. Variabilidade espacial dos índices de qualidade dos frutos em uma área de 4,5 ha em uma vinha de Coonawarra plantada com Ruby Carbenet em 1989.

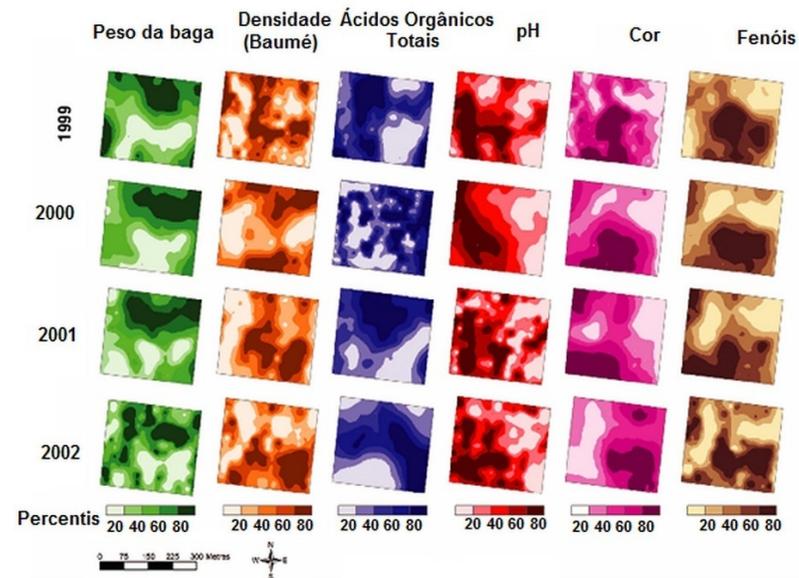


Figura 3. Variabilidade espacial dos índices de qualidade dos frutos em uma área de 7,3 ha em uma vinha de Coonawarra plantada com Carbenet Sauvignon em 1974.

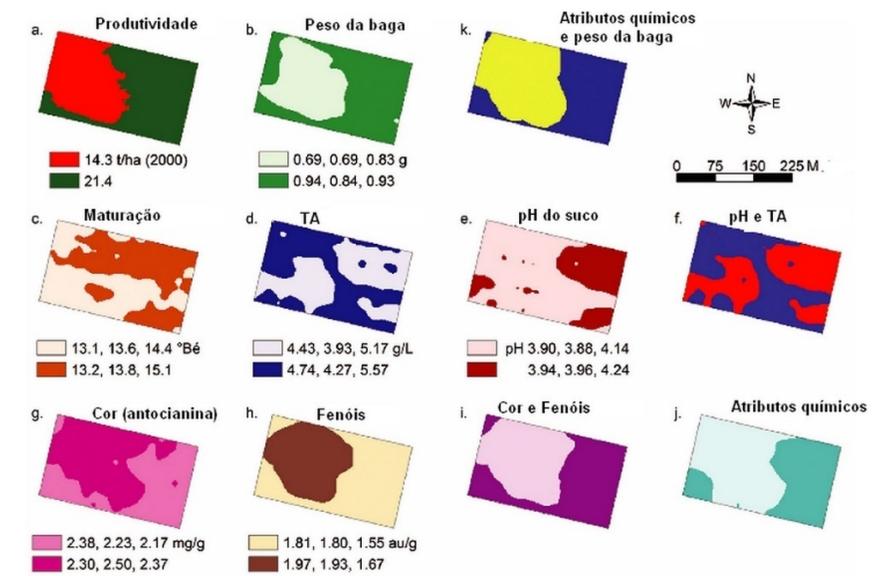


Figura 4. Resultados do “K-means clustering” (vinhedo em Sunraysia – dois grupos de soluções). As legendas de cada mapa de atributo indicam (da esquerda para a direita) as médias do conjunto em 2000, em 2001 e em 2002. Para cada mapa, as cores diferentes indicam as posições dos dois conjuntos “clusters”.

Variabilidade espacial da qualidade do melão

Miranda et al. (2005) realizaram trabalho em Mossoró, RN, com o intuito de identificar variáveis da fertirrigação e atributos do solo influenciando a produtividade e qualidade de frutos de melão. Foram determinadas variáveis de produtividade (tipo exportação e comerciável); qualidade (sólidos solúveis totais e firmeza de polpa); fertirrigação (vazão, elevação, distância até a entrada de água e quantidade de adubo aplicada); características químicas do solo (pH, matéria orgânica, P, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e Na⁺, acidez potencial, Cu, Zn, Fe e Mn) e físicas (argila, areia, silte, densidade do solo e umidade).

As variáveis relacionadas à maior disponibilidade de água favoreceram a produtividade e prejudicaram a qualidade dos frutos. Os teores de P no solo foram as maiores causas de variação em produtividade do melão, tendo proporcionado efeito positivo sobre peso dos frutos para exportação (PEXP) e peso dos frutos comerciáveis (PCOM). O pH do solo foi o principal responsável pela variação em qualidade de frutos, tendo-se observado aumento em firmeza de polpa e sólidos solúveis totais (SST) devido a maiores pH. Quanto aos micronutrientes, o Cu exerceu efeito positivo sobre PEXP e SST, enquanto o Fe e o Mn apresentaram efeito negativo sobre PEXP, PCOM e SST.

Esses resultados indicam que existem muitos fatores de clima e solo que podem influenciar a qualidade do melão. Mesmo não tendo sido feito um estudo aprofundado de geoestatística na área, os resultados mostram-se interessantes, uma vez que

compreendendo como os fatores de produção exercem influência sobre a qualidade do produto agrícola, pode-se mapear e correlacionar sua variabilidade e, desse modo, manejá-la de forma localizada.

Variabilidade espacial da qualidade de algodão

Para obter o máximo de lucro, os cotonicultores devem tentar controlar a qualidade do seu produto final, a fibra do algodão (*Gossypium hirsutum* L.). As características desse produto (intrínsecas e extrínsecas) são muito importantes, pois, para que a fibra seja aceita pela indústria como matéria-prima, a mesma deve apresentar um padrão mínimo exigido, baseado em suas características tecnológicas.

Johnson et al. (2002) analisaram a variabilidade do rendimento e a qualidade da fibra de algodão em relação as propriedades do solo. O local foi uma área de 0,5 ha em um campo experimental em Florença, SC. As propriedades do solo estudadas foram: umidade, textura, matéria orgânica, pH, Ca, Mg, K, P, e Na. A qualidade da fibra foi analisada com relação à força de alongação. Foi realizado o teste geoestatístico dos dados. Os dados de qualidade e rendimento da fibra foram correlacionados com as propriedades do solo e os resultados podem ser vistos na Tabela 4.

O gráfico de contorno de Krigagem das propriedades do solo e características de produção e qualidade forneceu indicadores úteis para o entendimento do fenômeno da variabilidade na cultura, e pode ser visto na Figura 5, na qual, observa-se certa sobreposição entre os gráficos de comprimento da fibra e teor de argila.

Com exceção para o teor de Na, que foi descrito pelo modelo exponencial, todas as demais propriedades do solo foram descritas pelo modelo esférico do semivariograma. A escala de correlação espacial, em 1996, variou de 33 m para soma de bases a 99 m para pH do solo. Resultados similares foram obtidos para o ano de 1997 com o alcance indo de 34 m para Ca a 83 m para pH do solo. O alcance de correlação espacial para a matéria orgânica do solo para os dois anos foi de aproximadamente 52 m. P e Na do solo tiveram alcances levemente maiores, com valores de 69 e 80 m em 1996 e 67 e 47 m em 1997, respectivamente. Finalmente, o pH exibiu o maior alcance de correlação espacial em ambos os anos, com valores de 99 e 83 m, respectivamente.

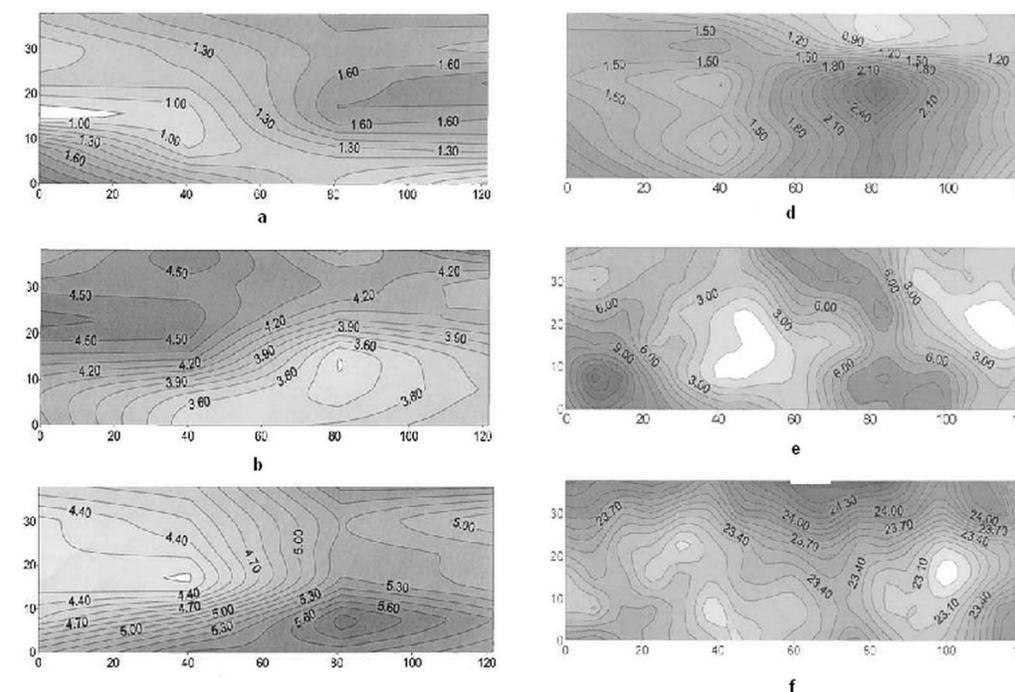


Figura 5. O gráfico de contorno da Krigagem de (a) produtividade das fibras (kg ha^{-1}) (b) índice de micronaire (c) pH do solo em 1997. (d) capacidade de troca catiônica do solo (cmolc kg^{-1}), (e) conteúdo de argila do solo, e (f) comprimento de fibra de algodão por peso (mm) em 1996.

Tabela 4. Coeficiente de correlação de Person entre nutrientes, propriedades do solo e características de qualidade da fibra de algodão. Adaptado de Johnson et al. (2002)

Propriedades da fibra	Umidade	P	N	K	pH	Matéria Orgânica	CTC
Produtividade, Kg.ha ⁻¹	ns	-0,51***	0,14*	-0,17*	0,46***	-0,50***	-0,18*
L(w), mm	-0,21***	-0,21**	ns	ns		-0,17*	ns
SFC (W), %	0,40***	ns	ns	-0,18**	ns	ns	0,26***
L(n), mm	-0,32***	ns	ns	0,16*	ns	ns	0,17*
SFC(n), %	0,40***	ns	ns	-0,20**	ns	ns	0,31***
D(n), %	-0,14*	0,36***	ns	ns	0,46***	0,32***	ns
Theta	-0,19**	0,35***	ns	ns	0,46***	0,27***	ns
IFF, %	0,23***	0,36***	ns	ns	0,48***	-0,30***	ns
A(n), M ²	-0,17*	0,40***	ns	ns	0,51***	0,33***	ns
FFF, %	0,28***	0,31***	ns	ns	0,45***	-0,25**	ns
MicronAFIS	-0,18*	0,39***	ns	ns	0,51***	0,31***	ns
Perímetro, um	ns	0,14*	ns	ns	-0,17*	0,15*	ns
Força(stlmtr), KNm.Kg ⁻¹	0,70***	ns	ns	ns	0,27***	ns	0,27***
Alongamento, %	0,56***	-0,22**	ns	ns	0,27***	-0,18*	0,37***
Micronaire	ns	0,22**	ns	ns	0,26***	0,16*	ns
L (hvi), mm	-0,21	0,34***	ns	ns	0,27***	-0,24**	ns
Uniformidade, %	-0,39***	ns	ns	ns	ns	ns	0,23**
Força (hvi), KNm.Kg ⁻¹	0,36***	0,19*	ns	ns	ns	0,16*	0,18*
Alongamento (hvi), %	-0,44***	-0,21**	ns	ns	ns	-0,18*	0,27**
Rd	0,21**	0,37***	0,19*	0,31**	0,26***	0,42***	ns
+b	-0,51***	0,21***	ns	ns	ns	-0,21**	0,26***

* Significante ao nível de 0,05. ** Significante ao nível de 0,01. *** Significante ao nível de 0,001. L(W)- Comprimento da fibra pelo peso. SFC(W)- Conteúdo de fibra curta pelo peso. L(n)- Comprimento da fibra pelo número. SFC(n)- Conteúdo de fibra curta pelo número. A(n)- Área do corte transversal por número. FFF- Fração de Fibra Fina. Stlmtr- Stelometer, equipamento utilizado para medir a força das fibras de algodão. L(hvi)- Comprimento da fibra determinado por meio de equipamento (High volume instrument - hvi) que é o mais avançado para medir propriedades de fibras. Rd- Reflectância. +b- Amarelecimento. D(n)- diâmetro unitário. IFF- Fração de Fibra Imatura. CTC- Capacidade de Troca Catiônica.

Variabilidade espacial da produtividade e tamanho dos frutos em citrus

Apesar do trabalho discutido aqui ter dado maior ênfase ao estudo da variabilidade espacial da produtividade dos frutos, vale à pena trazê-lo ao debate, dada à importância desse produto para o Brasil, que é o maior produtor mundial de laranja. Além do que, foi estudado o tamanho dos frutos que também pode ser considerada uma característica qualitativa, sendo constantemente utilizada com uns dos critérios de classificação dos frutos.

Farias et al. (2003) analisaram pomares de laranja irrigados e não irrigados, localizados no município de Luiz Antônio, SP, utilizando-se das técnicas de geostatística. Através dos mapas de krigagem, podem-se determinar as áreas de alta e baixa produtividade dos talhões.

Nas amostragens de produtividade e de tamanho de fruto, observou-se uma alta variabilidade nas duas áreas estudadas, nas quais, a quadra irrigada mostrou uma produção variando de 5,0 a 10,5 caixas (40,8 kg planta⁻¹) com média de 8,0 caixas. Na quadra não irrigada, a produtividade variou de 1,5 a 7,5 caixas, com média de 3,4 caixas. Essas diferenças também foram observadas para o tamanho dos frutos que, na quadra irrigada, apresentou tamanho médio de frutos variando de 56 a 71 mm, com média de 63 mm, Esses resultados foram superiores aos da quadra não irrigada, que teve variação de tamanho de fruto de 55 a 65 mm, com média de 59,7 mm.

Através da krigagem foi realizada a construção dos mapas da produtividade e do tamanho dos frutos das quadras irrigada (Figura 6) e não irrigada (Figura 7). Pelos mapas temáticos, podem-se observar as variabilidades espaciais.

A irrigação, provavelmente, não foi o único fator responsável pela alta variabilidade de produção no pomar. Neste caso, se fosse somente o fator irrigação, o mapa apresentar-se-ia mais homogêneo quanto à produtividade e tamanho dos frutos (Figuras 6 e 7). A representação gráfica mostra que fatores, como o tipo de solo, fertilidade, pragas, dentre outros, podem influenciar na produtividade e tamanho dos frutos.

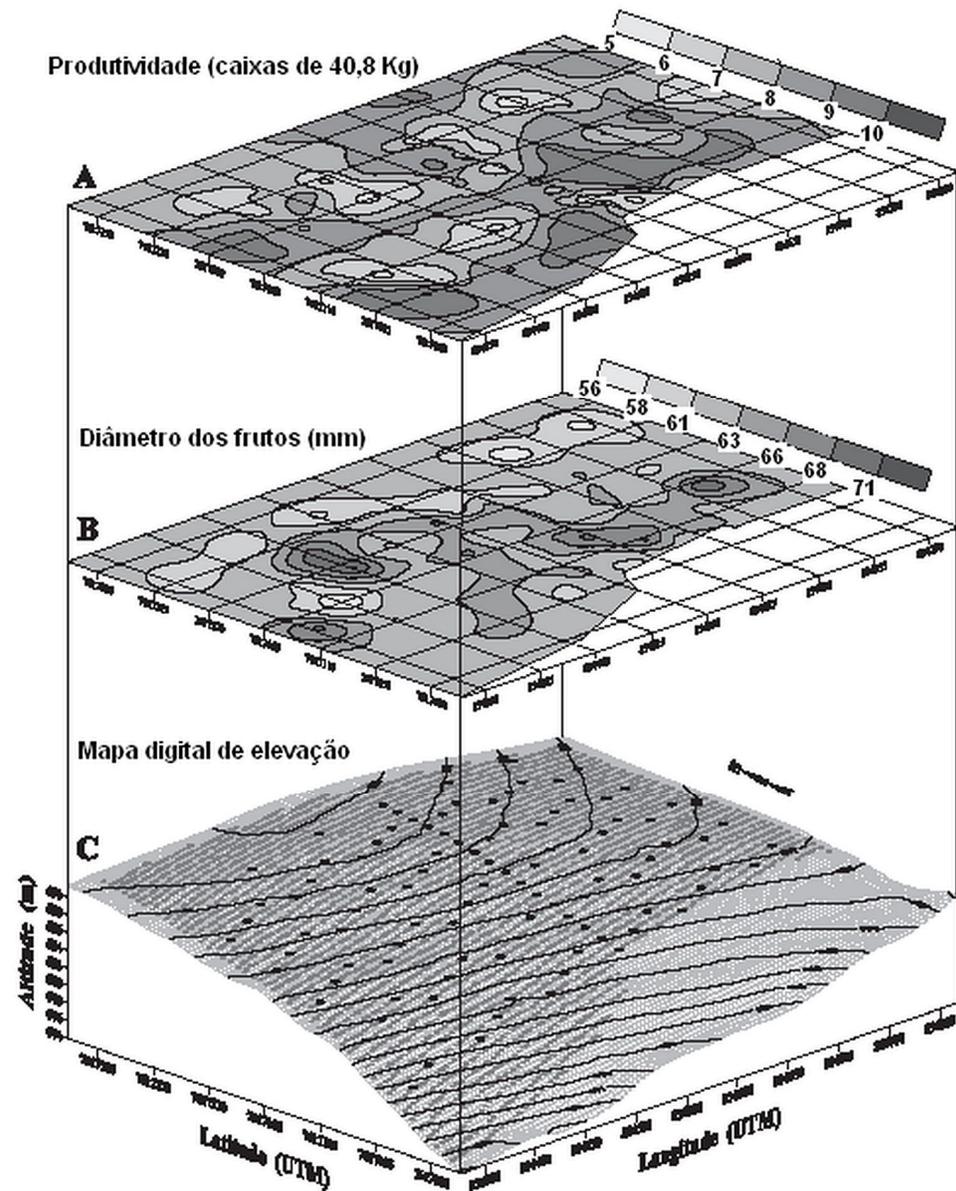


Figura 6. Mapa de produtividade (A) de tamanho do fruto (B) e as localizações das plantas georreferenciadas (C) da quadra irrigada.

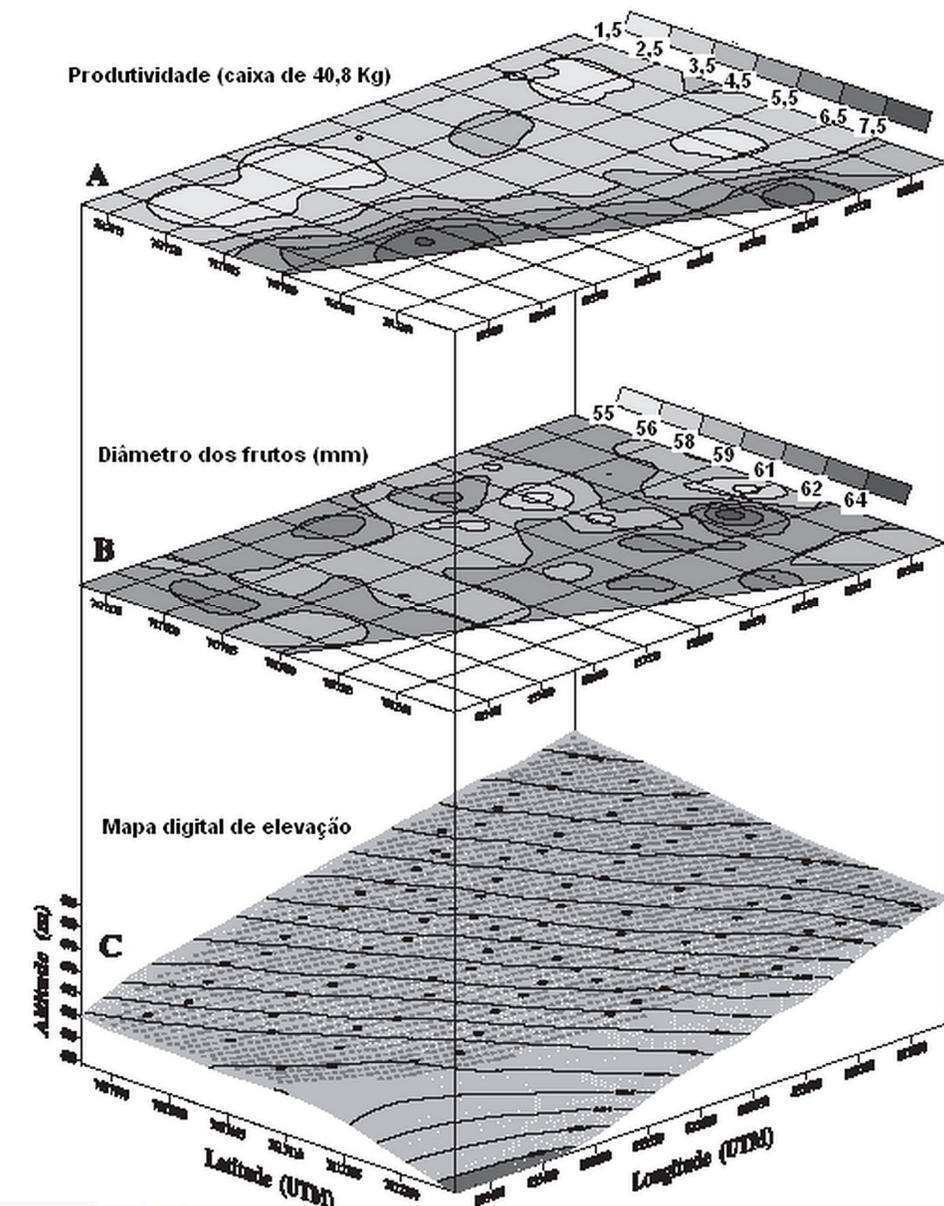


Figura 7. Mapa de produtividade (A) de tamanho do fruto (B) e as localizações das plantas georreferenciadas (C) da quadra não irrigada.

Variabilidade espacial da qualidade em café

No Brasil, alguns trabalhos vêm sendo desenvolvidos no sentido de identificar áreas de plantio e, ou, mapear a produtividade em lavouras de café (BALASTREIRE et al., 2002; HURTADO et al., 2003; PAVÃO; LESSA, 2002). Entretanto, existem poucos trabalhos concernentes à variabilidade espacial da qualidade. Oliveira (2003) propôs

uma metodologia para mapear a variabilidade espacial da maturação dos frutos, produtividade e qualidade do café de montanha em uma propriedade cafeeira. Trabalhando em um talhão com cerca de 1 ha, o autor coletou 128 amostras para teste de bebida, não encontrando variação de qualidade no mesmo.

Baseado nestes fatos, Alves. (2005) desenvolveu um trabalho com o objetivo de identificar e caracterizar a variabilidade espacial da qualidade de bebida do café, grau brix dos frutos, “status” nutricional (índices DRIS e SPAD), produtividade e maturação, em uma lavoura de café. Para tal, realizaram análises espaciais e de agrupamentos.

A Figura 8 representa o mapa de distribuição espacial das notas obtidas para qualidade de bebida do café cereja. Observa-se que existe, na propriedade, variabilidade espacial da qualidade de bebida do café cereja produzido. Esta variabilidade era esperada, uma vez que a propriedade apresenta características de solo e culturais (variedade, idade, espaçamento, face de exposição) distintas para a maioria dos subtalhões.

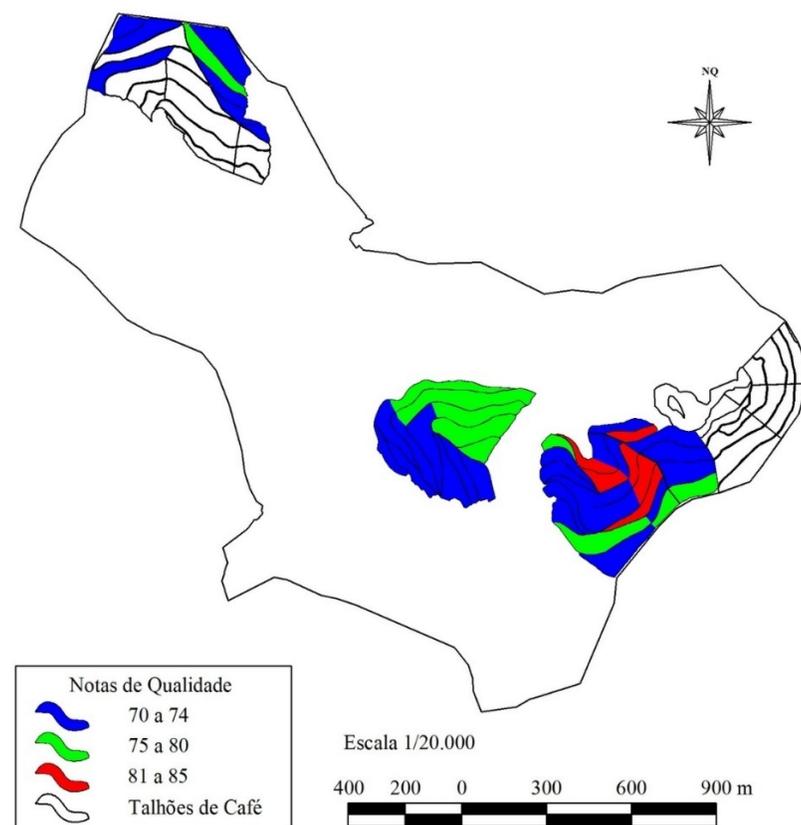


Figura 8. Mapa da distribuição espacial das notas obtidas para a qualidade de bebida do café cereja.

Segundo Lopes (2000), a composição química dos grãos sofre influência de fatores genéticos, ambientais e culturais, bem como dos métodos de colheita, processamento e armazenamento, e estes são importantes por afetarem diretamente a qualidade da bebida do café. A torração e o preparo da bebida modificam a constituição química dos grãos, mas, essas alterações são dependentes da composição original dos mesmos. A variabilidade espacial da qualidade (Figura 8) confirma a conclusão de Lopes (2000), pois, os frutos selecionados tinham um padrão homogêneo quanto ao aspecto visual, devido à passagem dos grãos por uma peneira, além da eliminação dos defeituosos. Isto demonstra que existe algum fator variando espacialmente na lavoura, o qual provavelmente alterou a constituição química dos grãos, resultando na diferença de qualidade observada entre os subtalhões.

Ainda na Figura 8, observa-se que existem, na propriedade, zonas com tendência para qualidade semelhante. Poder-se-ia, então, criar zonas de manejo, que teriam tratos culturais diferenciados, realizando-se coletas seletivas e processando-se os lotes separadamente. Esta análise espaço-temporal da qualidade poder-se-ia também determinar a erradicação de alguma lavoura que, por ventura, não apresentasse qualidade satisfatória do café.

A Tabela 1 apresenta a correlação entre as notas de qualidade de bebida e seus critérios constituintes, IBNm e açúcares da polpa dos frutos maduros do café (brix). Verifica-se que houve correlação positiva significativa entre a nota de qualidade de bebida e os critérios relacionados à avaliação da qualidade da mesma (aroma, bebida limpa, doçura, acidez, corpo, sabor, gosto remanescente e balanço). Entretanto, a nota de qualidade de bebida não apresentou correlação significativa com o brix dos frutos e o IBNm. É importante observar que a nota de qualidade apresentou correlação significativa com todos os constituintes de qualidade. Contudo, nenhum dos critérios constituintes apresentou correlação significativa com todos os demais. Isto indica que cada um dos constituintes “capta” informação específica para caracterizar a qualidade de uma bebida, ocorrendo, então um efeito conjunto.

Esperava-se que houvesse correlação significativa do brix com a qualidade de bebida ou algum de seus critérios, pois, sabe-se que os açúcares indicam a maturação dos frutos e afetam sua palatabilidade. No entanto, segundo Amorim (1976), em geral os açúcares não parecem afetar a qualidade do café. Todavia, vale ressaltar que os açúcares participam de importantes reações químicas, que ocorrem durante a torração, como reação de Maillard e, ou, caramelização, que são responsáveis pela formação da cor, sabor e aroma peculiar da bebida.

Embora não tenha apresentado correlação significativa com a nota da qualidade de bebida, o índice de balanço nutricional médio (IBNm) apresentou correlação significativa com os critérios aroma e corpo, indicando efeito indireto do equilíbrio nutricional sobre a qualidade de bebida. A existência desta correlação positiva pode ser explicada, em razão de uma maior demanda nutricional das plantas que produziram frutos cereja com maior potencial de qualidade, uma vez que se registrou a tendência de valores mais altos de IBNm (desequilíbrio nutricional) nas amostras foliares dos subtalhões que apresentaram maiores notas para os critérios aroma e corpo.

Tabela 5 Correlação entre as notas de qualidade de bebida, seus critérios constituintes (aroma, bebida limpa, doçura, acidez, corpo, sabor, gosto remanescente e balanço), o IBNm e os açúcares da polpa dos frutos do café (brix)

	IBNm	Aroma	B. limpa	Doçura	Acidez	Corpo	Sabor	G. rem.	Balanço	Nota de qualidade	Brix
IBNm	1										
Aroma	0,38 *	1									
B. limpa	-0,09	0,20	1								
Doçura	0,07	0,36 *	0,28	1							
Acidez	0,18	0,40 *	0,39 *	0,51 *	1						
Corpo	0,32 *	0,22	0,03	0,40 *	0,41 *	1					
Sabor	-0,01	0,40 *	0,19	0,70 *	0,43 *	0,47 *	1				
G. rem.	0,08	0,17	0,15	0,68 *	0,41 *	0,45 *	0,54 *	1			
Balanço	0,19	0,20	0,26	0,16	0,23	0,37 *	0,13	0,23	1		
Nota de qualidade	0,15	0,44 *	0,45 *	0,69 *	0,49 *	0,40 *	0,51 *	0,57 *	0,43 *	1	
Brix	0,07	0,13	-0,08	-0,03	-0,10	0,25	0,08	-0,04	0,22	-0,03	1

* Correlação significativa ao nível de 5% de significância pelo teste t.

Considerações finais

É de conhecimento do produtor que mesmo em situações em que se espera produção e qualidade homogênea se encontra variabilidade. Muitas vezes essa variabilidade ocorre em áreas de manejo semelhante e plantas com características genéticas idênticas. Isto, nos leva a conclusão que existem fatores de solo ou microclimáticos que podem estar causando essa variação. Estudos sobre essa dinâmica no campo podem nos levar a uma racionalização e aprimoramento das práticas de agricultura. Entretanto, uma vez definida a existência da variabilidade no campo é necessário compreender o seu padrão de distribuição espacial e os fatores que podem interferir nesse fenômeno.

Enfim, qualquer um que se aventurar por esta área de conhecimento terá um trabalho árduo para lançar luz sobre um assunto cheio de nuances e que trata todo o tempo de um critério, muitas vezes tão subjetivo, como é a qualidade.

Referências

- ALVES, E. A. Análise da variabilidade espacial da qualidade do café. 2005. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2005.
- AMORIM, H. V.; LEGENDRE, M. G.; AMORIM, V. L.; ANGELO, A. J. S.; ORY, R. L. Chemistry of Brazilian green coffee and the quality of the beverage: VII. Total carbonyls, activity of polyphenol oxidase, and hydroperoxides. *Turrialba*, v. 26, p. 193-195, 1976.
- BALASTREIRE, L. A.; AMARAL, J. R.; LEAL, J. C. G.; BAIO, F. H. R. Precision Agriculture Concepts Applied to Coffee Crops. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2., Viçosa. Anais... Viçosa, MG: SIAP, 2002.
- BRAMLEY, R. G. V.; HAMILTON, R. P. Understanding variability in winegrape production systems. 1. Within vineyard variation in yield over several vintages. *Journal of Grape and Wine Research*, v. 10, 32-45, 2004.
- BUENAVENTURA, C.; CASTAÑO, J. Influencia de la altitud en la calidad de la bebida de muestras de café procedente del ecotipo 206B en Colombia. *Cenicafé*, v. 53, n. 2, p. 119-131, 2002.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. *Soil Science Society of America Journal*, v. 58, n.1, p. 1501-1511, 1994.
- CORDERO, A. F. P., Diversidade de bactérias endofíticas em frutos de café, 2008. 78 f. (Tese de Doutorado em Microbiologia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.
- FLEMING, K. L.; WESTFALL, D. G.; WIENS, D. W. ; BRODAHL, M. C. Evaluating Farmer Defined Management Zone Maps for Variable Rate Fertilizer Application. *Precision Agriculture*, v. 2, n. 2, p. 201-215, 2000.
- FARIAS, P. R. S.; NOCITI, L. R. A. S.; BARBOSA, J. C.; PERECIN, D. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade em pomares cítricos usando geoestatística. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 25, n. 2, p. 235-241, 2003.
- GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. V.; MATA, J. D. V. Análises exploratória e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho. *Acta Scientiarum Maringá*, v. 23, n. 5, p. 1149-1157, 2001.
- GUYOT, B.; GUEULE, D.; MANEZ, J. C.; PERRIOT, J.; GIRON, J.; VILLAIN, L. Influence de l'altitude et de l'ombrage sur la qualité des cafés arabica plantations.

Recherche Développement, v. 3, n. 4, p. 272-283, 1996.

HURTADO, S. M. C.; CARVALHO, L. M.; FERREIRA, E. Determinação das áreas cafeeiras através da análise multi-temporal de imagens de satélite, de 1997 e 1999. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: SBSR, 2003, p. 131-135.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. An introduction to applied geostatistics. New York: Oxford University Press, 1989. 560 p.

JOHNSON, L. F.; BOSCH, D. F.; WILLIAMS, D. C.; LOBITZ, B. M. Remote sensing of vineyard management zones: implications for wine quality. Applied Engineering in Agriculture, v. 17, p. 557-560, 2001.

JOHNSON, R. M.; DOWNER, R. G.; BRADLOW, J. M.; BAUER, P. J.; SADLER, E. J. Variability in Cotton Fiber Yield, Fiber Quality, and Soil Properties in a Southeastern Coastal Plain. Agronomy Journal, v. 94, p. 1305-1316, 2002.

LOPES, L. M. V. Avaliação da qualidade de grãos de café crus e torrados de cultivares de cafeeiro Coffea arábica L. 2000. 95 p. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2000.

MIRANDA, N. O.; OLIVEIRA, T. S.; LEVIEN, S. L. A.; SOUZA, E. R. Variabilidade espacial da qualidade de frutos de melão em áreas fertirrigadas. Horticultura Brasileira, Brasília, v. 23, n. 2, p. 242-249, 2005.

OLIVEIRA, A. S. C. Mapeamento da Variabilidade Espacial da Produção na Cafeicultura de Montanha. 2003. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.

ORTIZ, J. O.; FELGUEIRAS, C. A.; RENNÓ, C. D. Simulação conjunta de variáveis correlacionadas para aplicação em modelagem espacial. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., Florianópolis, 2007. Anais... Florianópolis: SBSR. p. 2955-2962.

PAVÃO, F.; LESSA, M. B. Determinação da Produção de café na Região de Atuação da COCAPEC, através da utilização de Geoprocessamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 28., Caxambu, 2002. Anais... Caxambu: CBPC. p. 125.

STAFFORD, J. V.; LeBARS, J. M.; AMBLER, B. A hand held data logger with integral GPS for producing weed maps by field walking. Computers and Electronics in Agriculture, v. 14, n. 2/3, p. 235-247, 1996.

TAYLOR, J. C.; WOOD, G. A.; EARL, R.; GODWIN, R. J. Soil factors and their influence on within-field crop variability, part II: Spatial analysis and determination of

management zones. Biosystems Engineering, v. 4, n. 84, p. 441-453, 2003.

TAYLOR, J. A.; MCBRATNEY, A. B.; WHELAN, B. M. Establishing Management Classes for Broadacre Agricultural Production. Agronomy Journal, v. 99, n. 1, p. 1366-1376, 2007.

VIEIRA, S. R. *et al.* Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. Hilgardia, Oakland, v 51, n. 3, p 1-75. 1983.