

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**VARIABILIDADE ESPACIAL E TAMANHO DE
PARCELA EM EXPERIMENTOS COM CULTURAS
OLERÍCOLAS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Daniel Santos

**Santa Maria, RS, Brasil
2013**

VARIABILIDADE ESPACIAL E TAMANHO DE PARCELA EM EXPERIMENTOS COM CULTURAS OLERÍCOLAS

Daniel Santos

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agronomia.**

Orientador: Prof. Alessandro Dal'Col Lúcio

**Santa Maria, RS, Brasil
2013**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Santos, Daniel

Variabilidade espacial e tamanho de parcela em experimentos com culturas olerícolas / Daniel Santos. - 2013.

57 f.; 30 cm

Orientador: Alessandro Dal'Col Lúcio

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, RS, 2013

1. Método de Papadakis 2. Análise de covariância 3. Precisão experimental
4. *Phaseolus vulgaris* L. 5. *Cucurbita pepo*. 6. *Capsicum annuum* L. 7. *Lactuca sativa* L. I. Lúcio, Alessandro Dal'Col II. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

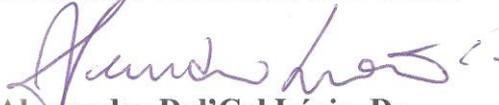
**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado**

**VARIABILIDADE ESPACIAL E TAMANHO DE PARCELA EM
EXPERIMENTOS COM CULTURAS OLERÍCOLAS**

elaborada por
Daniel Santos

Como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agronomia

COMISSÃO EXAMINADORA:


Alessandro Dal'Col Lúcio, Dr.
(Presidente/Orientador)


Alberto Cargnelutti Filho, Dr.(UFSM)


Leandro Homrich Lorentz, Dr.(UNIPAMPA)

Santa Maria, 20 de Fevereiro de 2013

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Professor Alessandro Dal'Col Lúcio, pelos ensinamentos e pela paciência e amizade, demonstrados durante toda o minha caminhada acadêmica.

Aos meus co-orientadores Professor Alberto Cargnelutti Filho e Professor Lindolfo Storck, pelas contribuições durante o mestrado, especialmente na elaboração do projeto que originou esse trabalho.

Aos colegas do setor de experimentação vegetal que geraram os dados que foram utilizados na elaboração desse trabalho.

A minha namorada Lisiane Löbler pelo amor e pela amizade em todos os momentos.

A minha família, pelo amor, apoio e incentivo, em toda minha vida.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Universidade Federal de Santa Maria

VARIABILIDADE ESPACIAL E TAMANHO DE PARCELA EM EXPERIMENTOS COM CULTURAS OLERÍCOLAS

AUTOR: Daniel Santos

ORIENTADOR: Alessandro Dal'Col Lúcio

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 20 de fevereiro de 2013.

O trabalho teve por objetivo testar a eficiência do método Papadakis no aumento da qualidade de experimentos com feijão-vagem, abobrinha italiana, pimentão e alface e, havendo eficiência, determinar a forma de estimativa da covariável e o tamanho de parcela para uso em experimentos onde se aplicará o método. A definição da forma de estimativa da covariável que proporciona maior eficiência do método Papadakis e o cálculo do tamanho de parcela ajustado para uso no mesmo foram realizados a partir dos seguintes experimentos em branco: dois experimentos com abobrinha italiana, oito com alface, cinco com feijão-vagem e dois com pimentão. Nos experimentos com abobrinha italiana, feijão-vagem e pimentão, a variável foi o peso de frutos e nos experimentos com alface a variável foi massa fresca da parte aérea. A eficácia do uso da análise de covariância (ANCOVA) com a covariável estimada pelo método Papadakis foi testada a partir de experimentos com tratamentos: um com a cultura do pimentão, onde a variável foi o peso de frutos e, um com a cultura da alface, onde a variável foi a massa fresca da parte aérea. O uso de ANCOVA com a covariável estimada pelo método Papadakis aumenta a qualidade de experimentos com culturas olerícolas. A covariável que proporciona a maior eficiência da ANCOVA é aquela que é estimada considerando uma parcela vizinha de cada lado da parcela de referência no sentido da linha de cultivo. O tamanho de parcela na linha de cultivo, ajustado para uso do método, é de 10 plantas (2,0 m) para feijão-vagem, de cinco plantas (4,5 m) para abobrinha italiana, cinco plantas (1,5 m) para pimentão, e de quatro plantas (1,2 m) para alface.

Palavras-chave: Método de Papadakis. Análise de covariância. Precisão experimental.
Phaseolus vulgaris L.. *Cucurbita pepo*. *Capsicum annuum* L.. *Lactuca sativa* L..

ABSTRACT

Masters dissertation
Agronomy Graduate Program
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

SPATIAL VARIABILITY AND SIZE OF PLOT IN EXPERIMENTS WITH VEGETABLE CROPS

AUTHOR: Daniel Santos

ADVISER: Alessandro Dal'Col Lúcio

Date and Local Presentation: Santa Maria, February 20th, 2013.

The study aimed to test the efficiency of the method Papadakis on increasing the quality of experiments with snap beans, zucchini, peppers and lettuce, and having efficiency, determine how to estimate the covariate and plot size for use in experiments where apply the method. The definition of the form of estimated covariate that provides greater efficiency and calculation method Papadakis plot size adjusted for use in this method were made from the following blank experiments: two experiments with zucchini, lettuce with eight, five-bean pod and two peppers. In experiments with zucchini, pole beans and peppers, the variable was the weight of fruits and lettuce in experiments with variable mass was fresh shoot. The effectiveness of the use of analysis of covariance (ANCOVA) with the covariate estimated by Papadakis was tested from treatment experiments: one with the bell pepper crop, where the variable was the weight of fruit and one with lettuce crop where the variable was the fresh weight of shoots. The use of ANCOVA with the covariate estimated by Papadakis increases the quality of experiments with vegetable crops. The covariate that provides the highest efficiency ANCOVA is that which is determined considering a portion neighboring each side of the reference portion towards the row of plants. The plot size in the crop row, adjusted for method, is 10 plants (2.0 m) for snap beans, five plants (4.5 m) to zucchini, five plants (1.5 m) for chili, and four plants (1.2 m) for lettuce.

Keywords: Papadakis Method. Analysis of covariance. Experimental precision. *Phaseolus vulgaris* L.. *Cucurbita pepo*. *Capsicum annuum* L.. *Lactuca sativa* L..

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

Tabela 1 - Variância (s^2) (em $g \cdot 10^4$) e coeficiente de variação (CV%) para massa fresca de feijão-vagem em diferentes ambientes, épocas de cultivo e tamanhos de parcela, sem ajuste (SA) e com ajuste através das covariáveis estimadas pelo método Papadakis (C1, C2, C3)*.	29
Tabela 2 - Variância (s^2) (em $g \cdot 10^5$) e coeficiente de variação (CV%) para massa fresca de abobrinha italiana e pimentão cultivado em estufa em diferentes épocas, sem ajuste (SA) e com ajuste através das covariáveis estimadas pelo método Papadakis (C1, C2, C3)*.	30
Tabela 3 - Tamanho ótimo de parcela (X_0), em número de plantas, e coeficiente de variação do X_0 ($CV_{(X_0)}$), em %, para a massa fresca de feijão-vagem, abobrinha italiana e pimentão em diferentes ambientes e épocas de cultivo, sem ajuste (SA) e com ajuste através das covariáveis estimadas pelo método Papadakis (C1, C2, C3)*.	31
Tabela 4 - Resumo das análises de variância (ANOVA), e covariância considerando a covariável estimada pelo método Papadakis pelas formas C1 (ANCOVA 1) e C2 (ANCOVA 2), para variável massa fresca de pimentão em estufa plástica.	31
Tabela 5 - Coeficiente de variação (CV%), valor de F calculado para efeito de tratamento ($F_{\text{calculado}}$), diferença mínima significativa entre dois tratamentos pelo teste de Tukey (Δ) e diferença mínima significativa pelo teste de Tukey em porcentagem da média (DMS), para a análise de variância (ANOVA) e análise de covariância considerando a covariável estimada pelo método Papadakis pela forma C1 (ANCOVA 1), com os respectivos aumentos ou reduções em relação a ANOVA, para variável massa fresca de pimentão em estufa plástica.	32

ARTIGO 2

Tabela 1 - Variância (s^2) (em $g \cdot 10^3$) e coeficiente de variação (CV%) para massa fresca de alface cultivada em estufa e a campo no ano de 2007, considerando diferentes tamanhos de parcela, sem ajuste (SA) e com ajuste através das covariáveis estimadas pelo método Papadakis (C1, C2, C3)*.	48
Tabela 2 - Variância (s^2) (em $g \cdot 10^3$) e coeficiente de variação (CV%) para massa fresca de alface cultivada em estufa e túnel no ano de 2008, considerando diferentes tamanhos de parcela, sem ajuste (SA) e com ajuste através das covariáveis estimadas pelo método Papadakis (C1, C2, C3)*.	49
Tabela 3 - Tamanho ótimo de parcela (X_0), em número de plantas, e coeficiente de variação do X_0 ($CV_{(X_0)}$), em %, para a massa fresca de alface em experimentos em estufa, túnel e a campo, sem ajuste (SA) e com ajuste através das covariáveis estimadas pelo método Papadakis (C1, C2, C3)*.	50
Tabela 4 - Resumo das análises de variância (ANOVA) e covariância considerando a covariável estimada pelo método Papadakis pelas formas 1 (ANCOVA 1), 2 (ANCOVA 2) e 3 (ANCOVA 3), para variável massa fresca de alface a campo.	50

Tabela 5 - Coeficiente de variação (CV%), valor de F calculado para efeito de tratamento ($F_{\text{calculado}}$), diferença mínima significativa entre dois tratamentos pelo teste de Tukey (Δ) e diferença mínima significativa pelo teste de Tukey em porcentagem da média (DMS), para a análise de variância (ANOVA) e análise de covariância considerando a covariável estimada pelo método Papadakis pelas formas 1 (ANCOVA 1), 2 (ANCOVA 2) e 3 (ANCOVA 3), com os respectivos aumentos ou reduções em relação a ANOVA, para variável massa fresca de alface a campo.
.....51

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	10
ARTIGO 1 – VARIABILIDADE ESPACIAL E TAMANHO DE PARCELA EM EXPERIMENTOS COM CULTURAS OLERÍCOLAS DE MÚLTIPLAS COLHEITAS	13
Resumo	13
Abstract	14
Introdução	15
Material e Métodos	17
Resultados e Discussão	21
Conclusões	24
Referências	25
Tabelas	29
ARTIGO 2 – VARIABILIDADE ESPACIAL E TAMANHO DE PARCELA EM EXPERIMENTOS COM A CULTURA DA ALFACE	33
Resumo	33
Abstract	34
Introdução	35
Material e Métodos	37
Resultados e Discussão	40
Conclusões	44
Referências	45
Tabelas	48
CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
CONCLUSÕES.....	54
REFERÊNCIAS	55

INTRODUÇÃO

A olericultura é uma atividade agroeconômica altamente intensiva que, se for corretamente gerida, possibilita alta lucratividade por área. Em 2006 a área plantada com culturas olerícolas no Brasil chegou a 771,36 mil hectares, alcançando uma produção total de 17.549 milhões de toneladas (IBGE, 2006).

Uma característica mercadológica marcante dos produtos olerícolas é a grande flutuação dos preços pagos ao produtor, ocorrendo, principalmente, devido grande sazonalidade de oferta destes produtos no mercado que, por sua vez, decorre da alta sensibilidade das culturas olerícolas as adversidades climáticas. Em algumas regiões do Brasil, alguns períodos do ano são impróprios para o cultivo de várias culturas olerícolas, onde se faz necessário o uso de ambientes protegidos. A adoção desta técnica possibilita o cultivo de varias culturas fora da época preferencial, aumentando as chances de sucesso nessa atividade, pois possibilita que se produza nas épocas do ano de menor disponibilidade de produto no mercado.

Com o advento do cultivo em ambientes protegidos passou a existir a necessidade de serem desenvolvidas estratégias para que experimentos neste tipo de ambiente apresentem precisão experimental adequada. Essa idéia é reforçada pelo fato dos estudos realizados por Lúcio et al. (2006), Lúcio et al. (2008), Carpes et al. (2010) e Santos et al. (2010), demonstrarem que a área experimental delimitada por estufa ou túnel plástico apresentam heterogeneidade das variâncias entre as linhas de cultivo, independente da cultura olerícola estudada.

Devido à importância que a olericultura vem ganhando, diversas pesquisas vem sendo realizadas nesta área, tanto em ambiente protegido como desprotegido, visando encontrar formas de aumentar a qualidade e a produtividade dessas culturas (TEODORO et al., 1993; SEGOVIA et al., 1997; SANTOS et al., 2001; QUEIROGA et al., 2002; PEREIRA et al., 2003; HELDWEIN et al., 2010; STRASSBURGER et al., 2011). Nessas pesquisas são utilizados experimentos planejados e conduzidos de modo que o erro experimental seja o mínimo possível, fornecendo assim informações de qualidade aos usuários dos resultados dessas pesquisas. Porém, algumas particularidades inerentes a este tipo de cultura, tais como: ponto de colheita subjetivo, ocorrência de valor zero em determinada colheita e realização de múltiplas colheitas são fontes adicionais de erro experimental (LORENTZ et al., 2005; LÚCIO et al., 2008). Dessa forma, muitas vezes os resultados dessas pesquisas não

apresentam a precisão experimental desejada devido à alta variabilidade presente nos experimentos envolvidos nas mesmas.

Diante desta situação, várias pesquisas já foram realizadas no intuito de desenvolver estratégias e de identificar os procedimentos mais adequados para que o erro experimental seja minimizado em experimentos com culturas olerícolas. Dentre esses, estão os trabalhos realizados com tomate, por Lopes et al. (1998); com pimentão, por Lúcio et al. (2006); com abobrinha italiana, por Lúcio et al. (2008), Carpes et al. (2008) e Carpes et al. (2010); com alface, por Santos et al. (2010) e com feijão-vagem, por Haesbaert et al. (2011). Essas pesquisas voltadas à melhoria da qualidade de experimentos de culturas olerícolas vêm, de forma geral, buscando esta melhoria através das seguintes estratégias: determinação do tamanho de parcela e de amostra ajustados a variabilidade das áreas experimentais e de cada cultura; determinação do comportamento da variabilidade entre filas e entre colheitas; e, estudo de transformações de dados mais adequadas para minimizar os efeitos do excesso de zeros no banco de dados.

Dentre as várias metodologias estatísticas propostas para minimizar o efeito do erro experimental, encontra-se o uso da análise de covariância (Storck et al., 2006), nessa técnica uma variável mensurada no decorrer do experimento é utilizada para ajustar a variável de interesse com o intuito de reduzir o erro experimental. Papadakis (1937) propôs um método de ajuste espacial baseado em análise de covariância, no qual se utiliza as médias dos erros experimentais calculadas entre as parcelas vizinhas como covariável, a fim de diminuir a variância do erro experimental. Este método apresenta a vantagem de dispensar que se mensure a covariável durante a condução do experimentos, além disso mostrou-se eficaz na redução do erro experimental em experimentos para culturas como: feijoeiro, soja, milho, eucalipto (CARGNELUTTI FILHO et al., 2003; SOUZA et al., 2003; COSTA et al., 2005; FOX et al., 2007; STORCK et al., 2008; STORCK et al., 2009; STORCK et al., 2010).

O princípio do método Papadakis é o uso das médias dos erros de parcelas vizinhas como covariável para ajustar a variável original. Como a covariável é obtida a partir dos erros, não sendo influenciada pelo efeito dos tratamentos, esse método poderia ser usado também em ensaios em branco. Nesse caso haveria a possibilidade de determinar um tamanho de parcela ajustado para variáveis ajustadas pelo método. Esse tamanho de parcela ajustado seria importante para situações onde o método será aplicado, uma vez que o tamanho de parcela depende da variabilidade da área experimental (STORCK et al., 2006), e essa é alterada quando o método Papadakis é utilizado. Porém não foi encontrado na literatura trabalhos

indicando o tamanho de parcela adequado para os casos em que se utiliza o método Papadakis.

De forma geral, em cultivos com culturas olerícolas, especialmente as cultivadas em ambientes protegidos, as estatísticas que descrevem o erro experimental, como CV%, ou mesmo a variância, no caso de experimentos em branco, são elevados em relação a experimentos com culturas menos intensivas. Isso sugere que as potencialidades de sucesso do método Papadakis na redução do erro experimental nesse tipo de experimento são elevadas. Apesar disso não foi encontrado na literatura trabalhos testando a aplicabilidade e as formas adequadas para aplicação deste método a experimentos com culturas olerícolas.

Assim, os objetivos deste estudo foram avaliar a eficiência do método Papadakis no aumento da qualidade de experimentos com abobrinha italiana, alface, feijão-vagem e pimentão; em identificando esta eficiência, determinar a forma de obter a estimativa da covariável e estimar o tamanho de parcela para uso em experimentos onde se aplicará o método.

ARTIGO 1 – VARIABILIDADE ESPACIAL E TAMANHO DE PARCELA EM EXPERIMENTOS COM CULTURAS OLERÍCOLAS DE MÚLTIPLAS COLHEITAS

Variabilidade espacial e tamanho de parcela em experimentos com culturas olerícolas de múltiplas colheitas

Resumo - O trabalho teve por objetivo avaliar a eficiência do método Papadakis na melhoria da qualidade de experimentos com culturas olerícolas de múltiplas colheitas e, havendo eficiência, determinar a melhor forma de estimativa da covariável e o tamanho de parcela, para uso em experimentos onde se aplicará o método. Experimentos em branco com as culturas do feijão-vagem, abobrinha italiana e pimentão foram utilizados para determinar a forma de estimativa da covariável que proporciona maior eficiência do método Papadakis e para estimar o tamanho de parcela ajustado para uso nesse método. Um experimento com tratamentos com a cultura do pimentão, foi utilizado para testar a eficácia do uso de análise de covariância (ANCOVA) utilizando a covariável estimada pelo método Papadakis no aumento da qualidade do experimento. Em todos os experimentos a variável utilizada foi o peso de frutos. O uso de ANCOVA com a covariável obtida pelo método Papadakis aumenta a qualidade de experimentos com culturas olerícolas de múltiplas colheitas. A covariável que proporciona a maior eficiência da ANCOVA é aquela que considera uma parcela vizinha de cada lado da parcela de referência no sentido da linha de cultivo. O tamanho de parcela na linha de cultivo, ajustado para uso do método, é de 10 plantas (2,0 m) para feijão-vagem, de cinco plantas (4,5 m) para abobrinha italiana, cinco plantas (1,5 m) para pimentão.

Termos de indexação: Análise de covariância, controle de qualidade, variabilidade, múltiplas colheitas, *Phaseolus vulgaris* L., *Cucurbita pepo*, *Capsicum annuum* L..

Spatial variability and plot size in experiments with vegetable crops for multiple harvests

Abstract - The study aimed to evaluate the efficiency of the Papadakis method in improving the quality of experiments with multiple vegetable crops and harvests, with efficiency, determine the best way to estimate the covariate and plot size, for use in experiments where they apply the method. Blank experiments with crops of snap beans, zucchini and peppers were used to determine how to estimate the covariate that provides greater efficiency and Papadakis method to estimate the size of the portion set to use this method. A treatment experiment with bell pepper, was used to test the efficacy analysis of covariance (ANCOVA) using the estimated by Papadakis covariate to increase the quality of the experiment. In all experiments the variable used was the weight of fruit. The use of ANCOVA with the covariate obtained by Papadakis method increases the quality of experiments with vegetable crops of multiple crops. The covariate that provides the highest efficiency ANCOVA is one in neighboring a portion of each side of the reference portion towards the row of plants. The plot size in the crop row, adjusted for method, is 10 plants (2.0 m) for snap beans, five plants (4.5 m) to zucchini, five plants (1.5 m) for chili.

Index terms: Covariance analysis, quality control, variability, multiple harvests, *Phaseolus vulgaris* L., *Cucurbita pepo*, *Capsicum annuum* L..

Introdução

No ano de 2006 a produção total de culturas olerícolas chegou a 17.549 milhões de toneladas (IBGE, 2006). Frente à crescente importância desse tipo de atividade agrícola é importante que sejam realizadas cada vez mais pesquisas com as culturas olerícolas, de modo que sejam fornecidas informações para subsidiar o aumento na produtividade e qualidade dos produtos oriundos dessas.

As pesquisas com culturas agrícolas são realizadas através de experimentos, para que esses experimentos forneçam informações com qualidade é importante que sejam planejados e conduzidos de modo que o erro experimental seja minimizado (Storck et al., 2006). No entanto, em culturas olerícolas, algumas particularidades tais como, ponto de colheita subjetivo, manejo cultural mais intensivo em relação às outras culturas e as múltiplas colheitas realizadas em algumas culturas, elevam a variabilidade e em consequência também o erro experimental (Lorentz et al., 2005; Lúcio et al., 2008).

Como exemplo de culturas que necessitam de múltiplas colheitas tem-se o feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.), abobrinha italiana (*Cucurbita pepo*) e pimentão (*Capsicum annuum* L.). Para essas culturas já foram realizados trabalhos visando à redução do erro experimental em seus experimentos (Lúcio et al., 2003; Lúcio et al., 2004; Lorentz et al., 2005; Feijó et al., 2006; Lúcio et al., 2006; Carpes et al., 2008; Feijó et al., 2008; Lúcio et al., 2008; Couto et al., 2009; Lorentz & Lúcio, 2009; Carpes et al., 2010; Haesbaert et al., 2011; Santos et al., 2012). Essas pesquisas, voltadas à melhoria da qualidade dos experimentos com culturas olerícolas vêm, de forma geral, buscando essa melhoria através das seguintes estratégias: estimativa do tamanho de parcela e de amostra ajustados a variabilidade das áreas experimentais e de cada cultura; determinação da variabilidade entre filas e entre colheitas; e, estudo de transformações de dados para minimizar os efeitos do excesso de zeros no banco de

dados. No entanto, em alguns casos, mesmo aplicando essas técnicas, o erro experimental continua elevado, indicando a necessidade de novas técnicas de análises estatísticas.

O uso da análise de covariância é uma das técnicas que podem promover a redução do erro experimental (Storck et al., 2006). Nessa técnica uma variável mensurada no decorrer do experimento é utilizada para ajustar a variável de interesse com o intuito de reduzir o erro experimental. Papadakis (1937) propôs um método de ajuste da variabilidade espacial com base em análise de covariância, onde a média dos erros de parcelas vizinhas é utilizada como covariável na análise de covariância. Esse método possui a vantagem de dispensar que se mensure a covariável concomitantemente a variável e, além disso, mostrou-se eficaz na melhoria da qualidade de experimentos com feijoeiro, soja, milho e eucalipto (Cargnelutti Filho et al., 2003; Souza et al., 2003; Costa et al., 2005; Fox et al., 2007; Storck et al., 2008; Storck et al., 2009; Storck et al., 2010). No entanto, nessas pesquisas, não há consenso sobre a melhor vizinhança a ser utilizada para cálculo da covariável, indicando que a mesma varia entre culturas e as diferentes condições de cultivo.

A determinação da melhor vizinhança a ser utilizada no método Papadakis poderia ser realizada através de ensaios em branco, uma vez que a estimativa da covariável é realizada pelos erros, não havendo influência dos tratamentos. Nessa situação haveria a possibilidade de se obter um tamanho de parcela prevendo o posterior uso do método, o que seria importante uma vez que o tamanho de parcela depende da variabilidade existente no experimento (Storck et al. 2006), e essa fica alterada quando se aplica o método.

Não foram encontrados trabalhos avaliando a eficácia ou indicando as formas mais adequadas para o uso do método Papadakis em experimentos com culturas olerícolas de múltiplas colheitas. Diante disso, os objetivos deste estudo foram avaliar a eficiência do método Papadakis no aumento da qualidade de experimentos com feijão-vagem, abobrinha italiana e pimentão; em identificando esta eficiência, determinar a forma de obter a estimativa

da covariável e estimar o tamanho de parcela para uso em experimentos onde se aplicará o método.

Material e Métodos

No estudo foram utilizados experimentos em branco e de um experimento com tratamentos. Os experimentos foram realizados na área experimental do Departamento de Fitotecnia, Campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), município de Santa Maria – RS (latitude: 29° 42' 23''S, longitude: 53° 43' 15''W e altitude: 95 metros). O clima da região, segundo a classificação de Köeppen (Moreno, 1961) é do tipo Cfa - temperado chuvoso, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano e subtropical do ponto de vista térmico. O solo é classificado no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006) como Argissolo Vermelho Distrófico arênico.

Os experimentos em branco, utilizados no estudo, fazem parte do banco de dados do Setor de Experimentação Vegetal do Departamento de Fitotecnia da UFSM e foram os seguintes experimentos: Cultura do feijão-vagem: 1) em estufa no outono-inverno; 2) em túnel no outono-inverno; 3) a campo no outono-inverno; 4) em túnel na primavera-verão; e 5) a campo na primavera-verão; Cultura da abobrinha italiana: 1) em estufa no verão-outono e; 2) em estufa no inverno-primavera; Cultura do pimentão: 1) em estufa no verão-outono e; 2) em estufa no inverno-primavera. Esses experimentos foram dispostos da seguinte forma: Feijão-vagem: na estufa foram utilizados seis camalhões (linhas de cultivo) de 72 plantas; no túnel e a campo, foram usadas três linhas de 84 plantas; o espaçamento foi de 0,2 m entre plantas e de 1,0 m entre linhas. Abobrinha italiana: cada linha de cultivo continha 20 plantas espaçadas de 0,9 m com espaçamento entre linhas de 1,0 m. Pimentão: foram usadas 10 linhas de cultivo cada uma com 70 plantas, sendo o espaçamento de 0,6 m entre as fileiras e 0,3 m

entre as plantas. A cultivar de feijão-vagem foi a Macarrão, da abobrinha italiana foi a Caserta e a de pimentão foi a Vidi. A variável utilizada foi a massa fresca total (soma das colheitas), de vagens para feijão-vagem e de frutos, para abobrinha italiana e pimentão. Já o experimento com tratamentos foi com a cultura do pimentão em estufa plástica no delineamento de blocos ao acaso com oito repetições. A parcela foi constituída de 13 plantas no sentido da linha de cultivo e os tratamentos foram vigores de sementes: alto, médio, baixo e muito baixo.

Os ambientes protegidos utilizados nos experimentos possuem as mesmas características, ou seja, a estufa utilizada possui estrutura metálica do tipo arco pampeano, pé direito de 2,0 m e 3,5 m na parte central, com 20 m de comprimento e 10 m de largura, orientada no sentido norte-sul. O túnel utilizado possui pé direito de 3,0 m, 20 m de comprimento e orientação norte-sul. A cobertura da estufa e do túnel foi realizada com filme de polietileno de baixa densidade (PEBD), com espessura de 150 micras e aditivo anti-UV.

A análise dos dados foi realizada em duas etapas:

Etapa 1

Para cada um dos experimentos em branco, foram ajustados os valores de cada parcela através da adaptação do método de Papadakis (Papadakis, 1937). Esse procedimento foi realizado em cada linha de cultivo considerando tamanhos de parcela com diferentes números de plantas.

Para fins de uso das equações, considerou-se i parcelas e j linhas de cultivo. Inicialmente foi estimado o resíduo de cada parcela pela equação: $R_{(i,j)} = Y_{(i,j)} - \bar{Y}_{(.,j)}$, em que, $R_{(i,j)}$: é o resíduo da parcela i na linha de cultivo j ; $Y_{(i,j)}$: é o valor da parcela i na linha de cultivo j ; $\bar{Y}_{(.,j)}$: é a média das parcelas na linha de cultivo j .

Em seguida foram estimados os resíduos médios (covariáveis) de três formas (F) de modo a determinar a abrangência na linha que possibilitará maior eficiência da covariável:

$$C_1 = [R_{(i,j)} + R_{(i-1,j)} + R_{(i+1,j)}] / 3$$

$$C_2 = [R_{(i,j)} + R_{(i-1,j)} + R_{(i-2,j)} + R_{(i+1,j)} + R_{(i+2,j)}] / 5$$

$$C_3 = [R_{(i,j)} + R_{(i-1,j)} + R_{(i-2,j)} + R_{(i-3,j)} + R_{(i+1,j)} + R_{(i+2,j)} + R_{(i+3,j)}] / 7$$

Quando um determinado resíduo estava na extremidade da linha de cultivo, ou próximo a ela, de modo que algum dos resíduos vizinhos não estava disponível, a covariável foi estimada através dos resíduos vizinhos disponíveis.

O ajuste do valor original de cada parcela através da covariável foi realizado através da equação: $Y_{(i,j)}^* = Y_{(i,j)} - \beta(C_{(i,j)} - \bar{C}_{(.,j)})$, em que, $Y_{(i,j)}^*$: é a variável corrigida na parcela i da linha de cultivo j ; $Y_{(i,j)}$: é a variável original na parcela i da linha de cultivo j ; β : é o coeficiente de regressão entre a variável original e a covariável; $C_{(i,j)}$: é a covariável da parcela i da linha de cultivo j ; $\bar{C}_{(.,j)}$: é a média da covariável na linha de cultivo j . Para verificar qual forma de cálculo da covariável que possibilitou maior eficiência ao método, calculou-se a variância e o coeficiente de variação para os dados ajustados e não ajustados.

Ainda com os dados dos experimentos em branco, para os valores ajustados e não ajustados, estimou-se o tamanho ótimo de parcela pelo método da curvatura máxima do coeficiente de variação proposto por Paranaíba et al. (2009): $X_0 = \frac{10 \sqrt[3]{2(1-\hat{\rho}^2)S^2\bar{Y}}}{\bar{Y}}$, em que, \hat{X}_0 : é o tamanho ótimo de parcela; S^2 : é a variância na linha de cultivo; \bar{Y} : é a média das plantas na linha de cultivo; $\hat{\rho}$: é a autocorrelação espacial de primeira ordem, estimado

pela equação:
$$\hat{\rho} = \frac{\sum_{i=2}^n (R_{(i,j)})(R_{(i-1,j)})}{\sum_{i=1}^n (R_{(i,j)})^2}.$$

O coeficiente de variação do tamanho ótimo da parcela foi calculado pela equação:

$$CV_{(X_0)} = \frac{100 \sqrt{(1-\hat{\rho}^2) S^2 / \bar{Y}^2}}{\sqrt{X_0}}.$$

Etapa 2

Para os dados do experimento com tratamentos realizou-se a análise de variância (ANOVA) e análise de covariância (ANCOVA) considerando a covariável estimada pelas formas descritas na etapa 1 da análise. Na etapa 2, os resíduos utilizados na estimativa das covariáveis, foram obtidos através da mesma equação utilizada para estimativa dos resíduos na etapa 1, porém considerando i tratamentos e j blocos.

A avaliação da precisão experimental na ANOVA e ANCOVA foi procedida com base na estimativa das estatísticas: Coeficiente de variação (CV%); F calculado para tratamento ($F_{\text{calculado}}$); Quadrado médio do erro (QM_E); nível mínimo de significância do teste F para efeito de tratamento (nms); diferença mínima significativa entre dois tratamentos pelo teste de

Tukey (Δ): $\Delta = q_{\alpha(n;GL_E)} \sqrt{\frac{\hat{V}_{(mi-mi')}}{2}}$, em que, $q_{\alpha(n;GL_E)}$ é o valor da tabela do teste de Tukey, n é

o número de tratamentos, GL_E é o grau de liberdade do erro, QM_E é o quadrado médio do erro, J é o número de repetições; diferença mínima significativa pelo teste de Tukey em

porcentagem da média (DMS): $DMS = 100 * \frac{\Delta}{\hat{m}}$, em que, \hat{m} é a estimativa da média geral do

ensaio.

Antes da realização da ANOVA e da ANCOVA foram testados os pressupostos: aditividade dos efeitos do modelo, normalidade, homogeneidade e aleatoriedade dos erros. Além disso, para realização da ANCOVA, testaram-se os seguintes pressupostos: a covariável é independente do efeito de tratamentos; o coeficiente de regressão da variável sobre a covariável, depois de removidos os efeitos de tratamentos e de blocos, é linear independente dos tratamentos e blocos. As análises foram realizadas no software SOC/NTIA/Embrapa e no

aplicativo Office Excel. Todas as análises foram realizadas admitindo-se 5% de probabilidade de erro.

Resultados e Discussão

Em todos os testes realizados obteve-se atendimento dos pressupostos da aditividade dos efeitos do modelo, normalidade, homogeneidade e aleatoriedade dos erros, indicando ser adequado e confiável a análise dos dados pela via paramétrica. Além disso, a covariável não apresentou correlação com os tratamentos e o coeficiente de regressão da variável sobre a covariável, foi linear independente dos tratamentos e blocos. Isso demonstra que, se a covariável for eficiente para o ajuste da covariável, é correto o uso da análise de covariância utilizando as covariáveis testadas.

Para todas as culturas testadas, em todos os ambientes, épocas de cultivo e tamanhos de parcela, o ajuste através da covariável calculada pelo método Papadakis levou a uma redução no valor do coeficiente de variação (CV%) (Tabelas 1 e 2). Esse resultado indica que o ajuste pela covariável estimada por esse método reduz a variabilidade e, portanto, reduzirá o erro experimental quando utilizada em análise de covariância (ANCOVA) em um experimento com tratamentos, concordando com os resultados obtidos para outras culturas (Cargnelutti Filho et al., 2003; Souza et al., 2003; Costa et al., 2005; Fox et al., 2007; Storck et al., 2008; Storck et al., 2009; Storck et al., 2010).

A maior redução nos valores de CV% ocorreu quando o ajuste foi realizado pela covariável C1. A C1 foi a que possibilitou o melhor resultado em 80 % dos casos para a cultura do feijão-vagem e em 100% dos casos para as culturas da abobrinha italiana e pimentão. Considerando todos os ajustes realizados, as reduções nos valores de CV foram de 26, 17 e 13%, respectivamente para os ajustes pelas covariáveis C1, C2 e C3 (Tabelas 1 e 2).

Esses resultados indicam que em experimentos com tratamentos nas culturas do feijão-vagem, abobrinha italiana e pimentão a covariável para realização de ANCOVA, deve ser a C1, ou seja, considerar uma parcela vizinha de cada lado da parcela de referência no sentido da linha de cultivo, para estimativa da covariável. Resultado similar foi obtido por Cargnelutti Filho et al. (2003) para a cultura do milho, onde a melhor forma de estimativa da covariável foi aquela que considera o primeira parcela vizinha de cada lado da parcela de referência, no entanto nesse trabalho a covariável foi estimada extrapolando o limite do bloco, ou seja, considerando parcelas vizinhas de blocos diferentes na estimativa da covariável.

Diferentemente dos estudos realizados por Cargnelutti Filho et al. (2003), Storck et al. (2008), Storck et al. (2009) e Storck et al. (2010), nesse estudo optou-se por não extrapolar o limite do bloco na estimativa da covariável. Esse procedimento foi realizado dessa forma, pois, em culturas olerícolas, inúmeros trabalhos demonstram haver variabilidade significativa entre linhas de cultivo (Souza et al., 2002; Lúcio et al., 2003; Lorentz et al., 2005), o que torna evidente a necessidade de uso de blocos quando da realização de experimentos. Desta forma, com a covariável sendo estimada sem extrapolar o limite de bloco, há a possibilidade de se usufruir das vantagens experimentais proporcionadas pelo uso de blocos e também das vantagens da análise de covariância com a covariável estimada via método Papadakis.

Para todas as culturas e ambientes de cultivo avaliados, menores tamanhos de parcela foram possíveis quando se realizou o ajuste pelas covariáveis obtidas pelo método Papadakis. Dentre os ajustes, o que possibilitou o uso de menor tamanho de parcela foi o realizado através da covariável C1, nessa situação, considerando um tamanho de parcela único por cultura, o tamanho de parcela foi de 10 plantas para feijão-vagem, e de cinco plantas para abobrinha italiana e pimentão, equivalendo a uma abrangência na linha de cultivo de 2,0 m para feijão-vagem, 4,5 m para abobrinha italiana e 1,5 m para pimentão. Esses tamanhos de parcela, quando comparados com os obtidos para os dados não ajustados, foram reduzidos,

em termos de número de plantas, em 23% na cultura do feijão-vagem e da abobrinha italiana e em 27% para cultura do pimentão (Tabela 3).

A possibilidade de redução do tamanho de parcela é interessante, pois permite a avaliação de um número maior de tratamentos dentro de cada bloco (linha de cultivo), maximizando a utilização da área experimental utilizada para a realização de experimentos com culturas olerícolas. Nesses ambientes, devido a limitação de espaço físico, a utilização do tamanho ótimo de parcela faz com que o pesquisador não possa utilizar o número de tratamentos que gostaria. Isso em alguns casos leva a utilização de tamanhos de parcela definidos em função da área disponível e do número de tratamentos que se pretende utilizar, o que não é adequado, uma vez que a utilização de um tamanho de parcela ajustado para a variabilidade que ocorre na área experimental é uma importante forma de controlar o erro experimental (Storck et al. 2006). Diante disso, a utilização de um tamanho de parcela, prevendo a utilização de ANCOVA com covariável calculada pelo método Papadakis (Tabela 3), torna-se uma importante estratégia, pois além dos benefícios da ANCOVA, também torna os experimentos mais flexíveis, aumentando as situações onde será possível utilizar o tamanho ótimo de parcela.

Além da redução nos tamanhos de parcela, em todas as situações, os CV% dos tamanhos de parcela foram menores para as situações onde houve o ajuste pelo método Papadakis (Tabela 3). Isso torna evidente os benefícios do uso do método, pois além de possibilitar a redução do tamanho de parcela, possibilita que os tamanhos de parcela (menores) possibilitem maior precisão aos experimentos.

Pelos resultados da análise de covariância com a covariável C1 (ANCOVA 1) constata-se que houve efeito significativo da covariável, mostrando que é correto o uso da ANCOVA considerando a mesma. Esse resultado evidencia que a covariável obtida pelo método Papadakis realmente pode ser utilizada na ANCOVA em experimentos com culturas

olerícolas, uma vez que está significativamente relacionada com a variável (Tabela 4). Cargnelutti Filho et al. (2003), Storck et al. (2008), Storck et al. (2009) e Storck et al. (2010), também constataram que houve efeito significativo da covariável obtida pelo método Papadakis nas ANCOVAs realizadas para as culturas que estudaram.

Diferentemente do ocorrido na ANCOVA 1, na análise de covariância realizada com a covariável C2 (ANCOVA 2) não houve efeito significativo da covariável C2 evidenciando que não é correto o uso da ANCOVA a partir da mesma (Tabela 4). Isso ocorreu porque na estimativa dessa covariável é utilizado uma maior abrangência espacial do que para a covariável C1. Com isso algumas covariáveis foram obtidas através da soma de todos os resíduos disponíveis na linha de cultivo, o que levou-os a apresentar o mesmo valor.

O uso de ANCOVA melhora a qualidade do experimento com pimentão, quando comparado com a ANOVA. Houve redução do CV%, Δ e DMS, e aumento do $F_{\text{calculado}}$ (Tabela 5). Uma das explicações para este resultado é que em culturas olerícolas algumas particularidades como o ponto de colheita subjetivo, a realização de múltiplas colheitas, uso de manejo cultural mais intensivo (Lorentz et al., 2005 e Lúcio et al., 2008), fazem com que a variabilidade seja aumentada e, com isso, são maiores as chances de um método de ajuste de variabilidade espacial, como o Papadakis, ser efetivo.

Conclusões

1) O uso de análise de covariância com a covariável estimada pelo método Papadakis aumenta a qualidade de experimentos com culturas olerícolas de múltiplas colheitas e possibilita o uso de menores tamanhos de parcela.

2) A forma de estimativa da covariável que proporciona a maior eficiência da ANCOVA é aquela que considera uma parcela vizinha de cada lado da parcela de referência no sentido da linha de cultivo (C1).

3) O tamanho de parcela na linha de cultivo, ajustado para uso de ANCOVA com a covariável estimada pelo método Papadakis considerando a C1, é de 10 plantas (2,0 m) para feijão-vagem, de cinco plantas (4,5 m) para abobrinha italiana, cinco plantas (1,5 m) para pimentão.

Referências

CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L.; LÚCIO, A. D. Ajustes de quadrado médio do erro em ensaios de competição de cultivares de milho pelo método de Papadakis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 467-473, abr. 2003.

CARPES, R. H.; LÚCIO, A. D.; LOPES, S. J.; BENZ, V.; HAESBAERT, F. M.; SANTOS, D. Variabilidade produtiva e agrupamentos de colheitas de abobrinha italiana cultivada em ambiente protegido. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 2, p. 294-301, fev. 2010.

CARPES, R. H.; LÚCIO, A. D.; STORCK, L.; LOPES, S. J.; ZANARDO, B.; PALUDO, A. L. Ausência de frutos colhidos e suas interferências na variabilidade da fitomassa de frutos de abobrinha italiana cultivada em diferentes sistemas de irrigação. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 55, n. 6, p. 590-595, nov./dez. 2008.

COSTA, J. R., BUENO FILHO, J. S. S.; RAMALHO, M. A. P. Análise espacial e de vizinhança no melhoramento genético de plantas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 11, p. 1073-1079, nov. 2005.

COUTO, M. R. M.; LOPES, S. J.; CARPES, R. H. Transformações de dados em experimentos com abobrinha italiana em ambiente protegido. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 6, p. 1701-1707, set. 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

FEIJÓ, S.; STORCK, L.; LÚCIO, A. D.; LOPES, S. J. Heterogeneidade do solo e de tamanho de amostra antes e após cultivos com abobrinha italiana em estufa plástica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 6, p. 1744-1748, nov./dez. 2006.

FEIJÓ, S.; STORCK, L.; LÚCIO, A. D.; LOPES, S. J.; GARCIA, D. C.; CARPES, R. C. Heterogeneity index of zucchini yield on a protected environment and experimental planning. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 1, jan./mar. 2008.

FOX, J. C.; BI, H.; ADES, P. K. Spatial dependence and individual-tree growth models: II. Modelling spatial dependence. **Forest Ecology and Management**, Columbus, v. 245, p. 20-30, jun. 2007.

HAESBAERT, F. M.; SANTOS, D.; LÚCIO, A. D.; BENZ, V.; ANTONELLO, B. I.; RIBEIRO, A. L. P. Tamanho de amostra para experimentos com feijão-de-vagem em diferentes ambientes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 1, p. 38-44, jan. 2011.

IBGE **Censo agropecuário: Brasil**. Rio de Janeiro, 2006. Online. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 20 maio 2011.

LORENTZ, L. H.; LÚCIO, A. D. Tamanho e forma de parcela para pimentão em estufa plástica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 8, p. 2380-2387, nov. 2009.

LORENTZ, L. H.; LÚCIO, A. D.; BOLIGON, A. A.; LOPES, S. J.; STORCK, L. Variabilidade da produção de frutos de pimentão em estufa plástica. **Ciência Rural**, v. 35, n. 02, p. 316-323, 2005.

LÚCIO, A. D.; CARPES, R. H.; STORCK, L.; LOPES, S. J.; LORENTZ, L. H.; PALUDO, A. L. Variância e média da massa de frutos de abobrinha-italiana em múltiplas colheitas. **Horticultura Brasileira**, v. 26, n. 03, p. 335-341, 2008.

LÚCIO, A. D.; MELLO, R. M.; STORCK, L.; CARPES, R. H.; BOLIGON, A. A.; ZANARDO, B. Estimativa de parâmetros para o planejamento de experimentos com a cultura do pimentão em área restrita. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 4, p. 766-770, 2004.

LÚCIO, A. D.; SOUZA, M. F.; HELDWEIN, A. B.; LIEBERKNECHT, D.; CARPES, R. H.; CARVALHO, M. P. Tamanho da amostra e método de amostragem para avaliação de características do pimentão em estufa plástica. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 2, p. 180-184, abr./jun. 2003.

LÚCIO, A. D.; LORENTZ, L. H.; BOLIGON, A. A.; LOPES, S. J.; STORCK, L.; CARPES, R. H. Variação temporal da produção de pimentão influenciada pela posição e características morfológicas das plantas em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 1, p. 31-35, jan./mar. 2006.

MORENO, J. A. **Clima no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 41 p.

PAPADAKIS, J. S. **Méthode statistique pour des expériences sur champ**. Thessalonike: Institut d'Amélioration des Plantes à Salonique, 1937. 30p. (Bulletin, 23).

PARANAIBA, P. F.; FERREIRA, D. F.; MORAIS, A. R. Tamanho ótimo de parcelas experimentais: proposição de métodos de estimação. **Revista Brasileira de Biometria**, São Paulo, v. 27, n. 2, p. 255-268, abr./jun. 2009.

SANTOS, D.; HAESBAERT, F. M.; LÚCIO, A. D.; STORCK, L.; CARGNELUTTI FILHO, A. Tamanho ótimo de parcela para a cultura do feijão-vagem. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, p.119-128, 2012.

SOUZA, E. A.; GERALDI, I. O.; RAMALHO, M. A. P.; BERTOLUCCI, F. L. G. Experimental alternatives for evaluation of progenies and clones in eucalyptus breeding programs. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 427-434, jul./ago. 2003.

SOUZA, M. F.; LÚCIO, A. D.; STORCK, L.; CARPES, R. H.; SANTOS, P.; SIQUEIRA, L. Tamanho da amostra para peso de massa de frutos, na cultura da abóbora italiana em estufa plástica. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.8, n.2, p.123-128, 2002.

STORCK, L.; LOPES, S. J.; CARGNELUTTI FILHO, A.; LÚCIO, A. D.; TOEBE, M. Experimental precision in corn trials using the Papadakis method. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 6, p. 1458-1464, nov./dez. 2010.

STORCK L.; GARCIA D. C.; LOPES S. J.; ESTEFANEL V. **Experimentação vegetal**. 2.ed. Santa Maria: Ed. da UFSM. 2006. 198p.

STORCK, L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; LÚCIO, A. D.; LOPES, S. J. Método de Papadakis e número de repetições em experimentos de soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, p. 977-982, jul. 2009.

STORCK, L.; STECKLING, C.; ROVERSI, T.; LOPES, S. J. Utilização do método de Papadakis na melhoria da qualidade experimental de ensaios com soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 5, p. 581-587, maio 2008.

Tabelas

Tabela 1 - Variância (s^2) (em $g \cdot 10^4$) e coeficiente de variação (CV%) para massa fresca de feijão-vagem em diferentes ambientes, épocas de cultivo e tamanhos de parcela, sem ajuste (SA) e com ajuste através das covariáveis estimadas pelo método Papadakis (C1, C2, C3)*.

	--Estufa (outono-inverno)--				--Túnel (outono-inverno)--				--Túnel (primavera-verão)--			
	SA	C1	C2	C3	SA	C1	C2	C3	SA	C1	C2	C3
Parcela com 1 planta												
s^2	7,02	5,44	5,97	6,09	7,37	6,33	6,72	6,62	11,71	8,98	10,42	10,05
CV%	46,45	40,62	42,59	43,61	32,09	29,77	30,62	30,39	33,19	28,53	31,26	30,66
Parcela com 2 plantas												
s^2	11,88	7,06	9,02	10,21	11,80	9,04	9,68	10,00	19,25	11,59	16,32	16,95
CV%	30,87	24,34	27,25	28,63	20,17	17,71	18,14	18,56	21,21	16,40	19,60	19,95
Parcela com 3 plantas												
s^2	15,78	7,61	11,57	12,01	14,90	7,66	9,59	12,00	25,23	15,64	19,01	20,85
CV%	23,21	16,60	20,00	19,84	14,54	10,12	11,79	13,30	16,11	12,79	14,04	14,75
Parcela com 4 plantas												
s^2	25,68	16,36	19,69	21,44	34,21	23,96	19,53	29,42	53,98	36,81	44,12	33,25
CV%	21,97	17,62	19,01	19,67	11,30	9,48	8,64	10,33	11,07	8,97	9,87	8,62
Parcela com 6 plantas												
s^2	45,50	27,02	39,19	-	40,06	30,06	23,71	-	53,83	35,40	33,79	-
CV%	18,02	12,39	16,32	-	10,55	9,14	7,85	-	9,36	7,77	7,75	-
Parcela com 9 plantas												
s^2	55,29	39,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CV%	14,03	11,69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-----Campo (outono-inverno)-----												
	SA	C1	C2	C3								
Parcela com 1 planta												
s^2	6,8	3,23	3,65	4,01	12,38	10,19	9,84	10,46				
CV%	40,75	28,31	29,71	31,34	37,16	33,49	32,8	33,71				
Parcela com 2 plantas												
s^2	18,33	6,86	7,17	8,79	21,32	11,38	11,48	13,75				
CV%	33,07	19,87	20,68	22,74	24,61	17,57	17,7	19,38				
Parcela com 3 plantas												
s^2	38,04	10,8	16,5	15,1	32,67	12,82	20,03	22,44				
CV%	31,82	16,81	20,55	19,5	20,34	12,44	15,56	16,59				
Parcela com 6 plantas												
s^2	122,87	23,42	40,54	37,91	97,04	47,66	78,46	69,23				
CV%	28,4	12,03	15,95	15,31	17,58	12,14	15,77	14,66				
Parcela com 7 plantas												
s^2	161,23	27,52	48,03	-	115,28	66,59	85,64	-				
CV%	27,14	10,53	13,63	-	16,43	12,23	14,04	-				

$$* C1 = [R_{(i,j)} + R_{(i-1,j)} + R_{(i+1,j)}]^{1/3}$$

$$C2 = [R_{(i,j)} + R_{(i-1,j)} + R_{(i-2,j)} + R_{(i+1,j)} + R_{(i+2,j)}]^{1/5}$$

$$C3 = [R_{(i,j)} + R_{(i-1,j)} + R_{(i-2,j)} + R_{(i-3,j)} + R_{(i+1,j)} + R_{(i+2,j)} + R_{(i+3,j)}]^{1/7}$$

Tabela 2 - Variância (s^2) (em $g.10^5$) e coeficiente de variação (CV%) para massa fresca de abobrinha italiana e pimentão cultivado em estufa em diferentes épocas, sem ajuste (SA) e com ajuste através das covariáveis estimadas pelo método Papadakis (C1, C2, C3)*.

Abobrinha italiana								
-----Verão-outono-----					-----Inverno-primavera-----			
	SA	C1	C2	C3	SA	C1	C2	C3
Parcela com 1 planta								
s^2	3,84	2,85	3,11	3,28	22,26	16,26	17,32	18,55
CV%	55,69	48,28	50,31	51,67	25,86	21,84	22,68	23,43
Parcela com 2 plantas								
s^2	6,66	3,96	4,49	5,18	41,48	29,08	28,75	32,39
CV%	35,66	26,96	29,23	31,29	17,48	14,38	14,65	15,41
Parcela com 4 plantas								
s^2	14,42	8,31	11,06	-	85,56	36,21	54,08	-
CV%	24,71	18,72	21,15	-	11,71	7,59	9,29	-
Parcela com 5 plantas								
s^2	27,42	15,86	-	-	127,03	48,73	-	-
CV%	27,11	20,35	-	-	11,49	6,29	-	-
Pimentão								
-----Primavera-verão-----					-----Verão-outono-----			
	SA	C1	C2	C3	SA	C1	C2	C3
Parcela com 1 planta								
s^2	3,16	2,25	2,47	2,75	2,12	1,44	1,7	1,77
CV%	44,28	37,44	39,31	41,36	41,01	33,34	36,09	37,31
Parcela com 2 plantas								
s^2	5,87	3,77	4,99	5,11	4,13	2,49	3,2	3,47
CV%	29,91	24,23	27,6	27,9	28,84	22,19	25,42	26,41
Parcela com 5 plantas								
s^2	14,49	8,85	11,9	12,3	11,17	8,02	8,91	8,7
CV%	18,59	14,74	16,69	16,97	18,6	15,61	16,46	16,12
Parcela com 7 plantas								
s^2	18,77	11,12	14,09	15,67	16,08	11,57	11,7	12,17
CV%	14,76	11,09	12,48	13,54	15,7	12,86	13,1	13,52
Parcela com 10 plantas								
s^2	28,35	19,74	19,58	20,71	19	10,68	12,57	17,56
CV%	12,68	10,09	10,43	10,93	11,81	8,36	9,66	11,16
Parcela com 14 plantas								
s^2	33,96	15,84	23,29	26,02	28,83	14,46	23,42	21,86
CV%	10,06	6,59	7,98	8,71	10,36	6,73	8,72	8,59

$$* C1 = [R_{(i,j)} + R_{(i-1,j)} + R_{(i+1,j)}]^{1/3}$$

$$C2 = [R_{(i,j)} + R_{(i-1,j)} + R_{(i-2,j)} + R_{(i+1,j)} + R_{(i+2,j)}]^{1/5}$$

$$C3 = [R_{(i,j)} + R_{(i-1,j)} + R_{(i-2,j)} + R_{(i-3,j)} + R_{(i+1,j)} + R_{(i+2,j)} + R_{(i+3,j)}]^{1/7}$$

Tabela 3 - Tamanho ótimo de parcela (X_0), em número de plantas, e coeficiente de variação do X_0 ($CV_{(X_0)}$), em %, para a massa fresca de feijão-vagem, abobrinha italiana e pimentão em diferentes ambientes e épocas de cultivo, sem ajuste (SA) e com ajuste através das covariáveis estimadas pelo método Papadakis (C1, C2, C3)*.

	---- X_0 ----	--- $CV_{(X_0)}$ ---	---- X_0 ----	--- $CV_{(X_0)}$ ---	---- X_0 ----	--- $CV_{(X_0)}$ ---
	Feijão-vagem 1 (Estufa, outono-inverno)		Feijão-vagem 2 (Túnel, outono-inverno)		Feijão-vagem 3 (Túnel, primavera-verão)	
SA	15	16,67	11	12,82	12	13,16
C1	12	12,91	10	10,70	9	10,60
C2	14	15,09	11	12,08	11	12,28
C3	14	15,53	11	12,10	11	12,34
	Feijão-vagem 4 (Campo, primavera-verão)		Feijão-vagem 5 (Campo, outono-inverno)		Abobrinha italiana 1 (Estufa, verão-outono)	
SA	13	14,36	13	14,99	8	18,66
C1	10	11,03	9	9,79	6	14,51
C2	11	12,39	11	12,02	8	16,96
C3	11	12,64	11	12,64	8	17,49
	Abobrinha italiana 2 (Estufa, inverno-primavera)		Pimentão 1 (Estufa, primavera-verão)		Pimentão 2 (Estufa, verão-outono)	
SA	5	11,11	7	16,20	7	15,39
C1	4	8,55	5	11,95	5	11,14
C2	4	9,94	6	14,48	6	13,67
C3	5	10,31	7	15,25	6	14,27

$$* C1 = [R_{(i,j)} + R_{(i-1,j)} + R_{(i+1,j)}]^{1/3}$$

$$C2 = [R_{(i,j)} + R_{(i-1,j)} + R_{(i-2,j)} + R_{(i+1,j)} + R_{(i+2,j)}]^{1/5}$$

$$C3 = [R_{(i,j)} + R_{(i-1,j)} + R_{(i-2,j)} + R_{(i-3,j)} + R_{(i+1,j)} + R_{(i+2,j)} + R_{(i+3,j)}]^{1/7}$$

Tabela 4 - Resumo das análises de variância (ANOVA), e covariância considerando a covariável estimada pelo método Papadakis pelas formas C1 (ANCOVA 1) e C2 (ANCOVA 2), para variável massa fresca de pimentão em estufa plástica.

FV*	GL	QM	nms
ANOVA			
Bloco	7	60253,882	0,017
Tratamento	3	23898,519	0,304
Erro	21	18544,241	
ANCOVA 1			
Tratamento	3	23898,519	0,183
cov 1	1	121404,870	0,007
Erro	20	13401,209	
ANCOVA 2			
Tratamento	3	23898,519	0,321
cov 2	1	4287,642	0,642
Erro	20	19257,071	

* FV= fonte de variação; GL= graus de liberdade; QM= quadrado médio; nms= nível mínimo de significância associado ao teste F.

Tabela 5 - Coeficiente de variação (CV%), valor de F calculado para efeito de tratamento ($F_{\text{calculado}}$), diferença mínima significativa entre dois tratamentos pelo teste de Tukey (Δ) e diferença mínima significativa pelo teste de Tukey em porcentagem da média (DMS), para a análise de variância (ANOVA) e análise de covariância considerando a covariável estimada pelo método Papadakis pela forma C1 (ANCOVA 1), com os respectivos aumentos ou reduções em relação a ANOVA, para variável massa fresca de pimentão em estufa plástica.

Estatística	ANOVA	ANCOVA 1
CV%	15,20	12,90 (-15%)
F calculado	1,29	1,78 (+38%)
Δ	189,70	162,08 (-15%)
DMS	21,17	18,09 (-15%)

ARTIGO 2 – VARIABILIDADE ESPACIAL E TAMANHO DE PARCELA EM EXPERIMENTOS COM A CULTURA DA ALFACE

Variabilidade espacial e tamanho de parcela em experimentos com a cultura da alface

Resumo - O trabalho teve por objetivo testar a eficiência do método Papadakis na melhoria da qualidade de experimentos com a cultura da alface e, havendo eficiência, determinar a melhor forma de estimativa da covariável e o tamanho ótimo de parcela, para uso em experimentos onde se aplicará o método. A forma de estimativa da covariável que proporciona maior eficiência do método e o cálculo do tamanho de parcela ajustado para uso nesse método foram determinados a partir de oito experimentos em branco com a cultura da alface. A eficácia do uso de análise de covariância (ANCOVA) utilizando a covariável estimada pelo método Papadakis foi testada a partir de um experimento com tratamentos com a cultura da alface, onde a variável estudada foi a massa fresca da parte aérea das plantas. O uso de ANCOVA com a covariável estimada pelo método Papadakis melhora a qualidade de experimentos com a cultura da alface. A covariável que proporciona a maior eficiência da ANCOVA é aquela que considera uma parcela vizinha de cada lado da parcela de referência no sentido da linha de cultivo. O tamanho de parcela na linha de cultivo, ajustado para uso do método, é de quatro plantas (1,2 m) para estufa e túnel, e de cinco plantas (1,5 m) para o campo.

Termos de indexação: Análise de covariância, controle de qualidade, variabilidade, *Lactuca sativa* L..

Spatial variability and plot size in experiments with lettuce crop

Abstract - The study aimed to test the efficiency of the Papadakis method in improving the quality of experiments with the lettuce and having efficiency, determine the best way to estimate the covariate and the optimum plot size for use in experiments where they apply the method. The way to estimate the covariate that provides greater efficiency of the method and the calculation of the plot size adjusted to use this method, were made from eight blank experiments with lettuce crop. The effectiveness of using analysis of covariance (ANCOVA) using a covariate estimated by Papadakis, was tested from an experiment with treatments with lettuce crop, where the variable studied was the fresh weight of the shoots. The use of ANCOVA with the covariate estimated by Papadakis method improves the quality of experiments with lettuce crop. The covariate that provides the highest efficiency ANCOVA is one in neighboring a portion of each side of the reference portion towards the row of plants. The plot size in the crop row, adjusted for method, is four plants (1.2 m) for greenhouse and tunnel, and five plants (1.5 m) to the field.

Index terms: Covariance analysis, quality control, variability, *Lactuca sativa* L..

Introdução

A alface é destaque na olericultura brasileira, alcançando no ano de 2005 uma produção de 525.602 mil toneladas (IBGE, 2006). Frente a isso, diversas pesquisas vem sendo realizadas com essa cultura visando encontrar formas de aumentar a qualidade e a produtividade dessa cultura (Radin et al., 2004; Oliveira et al., 2006; Baumgartner et al., 2007; Pimentel et al., 2009). Essas pesquisas são realizadas com o uso de experimentos, que devem ser planejados e conduzidos de modo que o erro experimental seja o mínimo possível, fornecendo assim informações de qualidade aos usuários dos resultados de pesquisas.

Algumas particularidades inerentes às culturas olerícolas, tais como: ponto de colheita subjetivo e manejo cultural mais intensivo em relação às outras culturas são fontes adicionais de variabilidade e conseqüentemente de erro experimental (Lorentz et al., 2005; Lúcio et al., 2008). Dessa forma, muitas vezes os experimentos com essas culturas não apresentam o erro experimental satisfatoriamente baixo.

Visando apresentar estratégias para minimizar o erro experimental em experimentos com a cultura da alface, já foram realizados alguns estudos nos quais isso foi buscado via a identificação do delineamento experimental e dos tamanhos de parcela e de amostra adequados (Marodim et al., 2000; Santos et al., 2010; Lúcio et al., 2011). No entanto, em alguns casos, mesmo depois da aplicação dessas estratégias, o erro experimental ainda não se torna satisfatoriamente baixo, indicando a necessidade de novas abordagens estatísticas experimentais.

A análise de covariância é uma técnica já consagrada para melhoria da qualidade de experimentos (Storck et al., 2006). Nessa técnica uma variável secundária (covariável) é mensurada concomitantemente a variável de interesse, para na análise ser utilizada para ajustar o erro experimental. Papadakis (1937) propôs um método de ajuste da variabilidade espacial

onde a covariável para uso na análise de covariância, é obtida dos erros experimentais calculados entre as parcelas vizinhas. Nesse método existe a vantagem de não ser necessário mensurar a covariável concomitantemente a variável, uma vez que a mesma pode ser calculada somente no momento da análise. O método mostrou-se eficaz na redução do erro experimental em experimentos para culturas como: feijoeiro, soja, milho, eucalipto (Cargnelutti Filho et al., 2003; Souza et al., 2003; Costa et al., 2005; Storck et al., 2008; Storck et al., 2009; Storck et al., 2010). Como a covariável é obtida a partir dos erros, não sendo influenciada pelo efeito dos tratamentos, o método Papadakis poderia ser usado também em ensaios em branco. Neste caso haveria a vantagem de ser possível estimar um tamanho de parcela ajustado para variáveis ajustadas pelo referido método, além de possibilitar a determinação da melhor forma de estimativa da covariável com um banco de dados maior.

O tamanho de parcela depende principalmente da variabilidade da área experimental (Storck et al., 2006). Quando se faz uso da análise de covariância com a covariável estimada pelo método Papadakis, a variabilidade que estará agindo na área experimental será alterada. Isso torna importante que seja obtido um tamanho de parcela prevendo essa alteração na variabilidade.

Não foram encontrados na literatura trabalhos avaliando a eficiência ou indicando a forma adequada para aplicação do método Papadakis para cultura da alface. Assim, os objetivos deste estudo foram testar a eficiência do método Papadakis aumento da qualidade em experimentos com alface; em identificando esta eficiência, determinar a forma de obter a estimativa da covariável e estimar o tamanho de parcela para uso em experimentos onde se aplicará o método.

Material e Métodos

Este estudo foi realizado a partir oito experimentos em branco e de um experimento com tratamentos. Esses experimentos foram realizados na área experimental do Departamento de Fitotecnia, Campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), município de Santa Maria – RS (latitude: 29° 42' 23''S, longitude: 53° 43' 15''W e altitude: 95 metros). O clima da região, segundo a classificação de Köppen (Moreno, 1961) é do tipo Cfa - temperado chuvoso, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano e subtropical do ponto de vista térmico. O solo é classificado no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006) como Argissolo Vermelho Distrófico arênico.

Os experimentos em branco utilizados no estudo fazem parte do banco de dados do Setor de Experimentação Vegetal do Departamento de Fitotecnia da UFSM e constaram dos seguintes experimentos: 1) em estufa no verão; 2) a campo no verão; 3) em estufa no inverno; 4) a campo no inverno; 5) em estufa no outono; 6) em túneis no outono; 7) em estufa na primavera e; 8) em túneis na primavera. Em todos os experimentos a cultivar utilizada foi a Vera e as plantas foram dispostas em camalhões (linhas de cultivo) espaçados de 1,0 m sem o uso de *mulching*, com espaçamento entre plantas de 0,3 m. Nos experimentos realizados em estufa plástica foram utilizadas seis linhas de cultivo cada uma contendo 48 plantas. Nos experimentos realizados em túneis foram usadas três linhas de cultivo cada uma com 60 plantas. Nos realizados a campo, no verão foram utilizadas seis linhas e no inverno três linhas, cada uma contendo 48 plantas. A variável analisada nesses experimentos foi a fitomassa fresca da parte aérea das plantas. Já o experimento onde utilizou-se tratamentos, foi realizado a campo, utilizando 3 linhas de cultivo espaçadas de 1 m, com 64 plantas espaçadas de 0,3 m. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso sendo a linha de cultivo o bloco. A parcela foi constituída por quatro plantas no sentido da linha de cultivo. Os tratamentos utilizados

nesse experimento foram obtidos da combinação de diferentes doses de Acrescent Solus® combinados com diferentes momentos de aplicação, resultando em 16 tratamentos (Schwertner, 2012).

A estufa utilizada possui estrutura metálica do tipo arco pampeano, pé direito de 2,0 m e 3,5 m na parte central, com 20 m de comprimento e 10 m de largura, orientada no sentido norte-sul. O túnel utilizado possui pé direito de 3,0 m, 20 m de comprimento e orientação norte-sul. A cobertura da estufa e do túnel foi realizada com filme de polietileno de baixa densidade (PEBD), com espessura de 150 micras e aditivo anti-UV.

A análise dos dados foi realizada em duas etapas:

Etapa 1

Para cada um dos experimentos em branco, foram ajustados os valores de cada parcela através da adaptação do método de Papadakis (Papadakis, 1937). Esse procedimento foi realizado em cada linha de cultivo considerando parcelas com 1, 2, 3, 4, 6 e 8 plantas, nos experimentos em estufa e a campo, e parcelas com 1, 2, 3, 4, 6 e 10 plantas nos experimentos em túnel.

Para fins de uso das equações, considerou-se i parcelas e j linhas de cultivo. Inicialmente foi estimado o resíduo de cada parcela pela equação: $R_{(i,j)} = Y_{(i,j)} - \bar{Y}_{(.,j)}$, em que, $R_{(i,j)}$: é o resíduo da parcela i na linha de cultivo j ; $Y_{(i,j)}$: é o valor da parcela i na linha de cultivo j ; $\bar{Y}_{(.,j)}$: é a média das parcelas na linha de cultivo j .

Em seguida foram estimados os resíduos médios de três formas (F) de modo a determinar a abrangência na linha que possibilitará maior eficiência da covariável:

$$C_1 = [R_{(i,j)} + R_{(i-1,j)} + R_{(i+1,j)}] / 3$$

$$C_2 = [R_{(i,j)} + R_{(i-1,j)} + R_{(i-2,j)} + R_{(i+1,j)} + R_{(i+2,j)}] / 5$$

$$C_3 = [R_{(i,j)} + R_{(i-1,j)} + R_{(i-2,j)} + R_{(i-3,j)} + R_{(i+1,j)} + R_{(i+2,j)} + R_{(i+3,j)}] / 7$$

Quando um determinado resíduo estava na extremidade da linha de cultivo, ou próximo a ela, de modo que algum dos resíduos vizinhos não estava disponível, a covariável foi estimada através dos resíduos vizinhos disponíveis.

O ajuste do valor original de cada parcela através da covariável foi realizado através da equação: $Y_{(i,j)}^* = Y_{(i,j)} - \beta(C_{(i,j)} - \bar{C}_{(.,j)})$, em que, $Y_{(i,j)}^*$: é a variável corrigida na parcela i da linha de cultivo j ; $Y_{(i,j)}$: é a variável original na parcela i da linha de cultivo j ; β : é o coeficiente de regressão entre a variável original e a covariável; $C_{(i,j)}$: é a covariável na parcela i da linha de cultivo j ; $\bar{C}_{(.,j)}$: é a média da covariável na linha de cultivo j . Para verificar qual forma de estimativa da covariável que possibilitou maior eficiência ao método, calculou-se a variância e o coeficiente de variação para os dados ajustados e não ajustados.

Ainda com dos dados dos experimentos em branco, para os dados ajustados e não ajustados, estimou-se o tamanho ótimo de parcela pelo método da curvatura máxima do coeficiente de variação proposto por Paranaíba et al. (2009): $X_0 = \frac{10 \sqrt[3]{2(1-\hat{\rho}^2)S^2\bar{Y}}}{\bar{Y}}$, em que, \hat{X}_0 : é o tamanho ótimo de parcela; S^2 : é a variância na linha de cultivo; \bar{Y} : é a média das plantas na linha de cultivo; $\hat{\rho}$: é a autocorrelação espacial de primeira ordem, estimado

pela equação:
$$\hat{\rho} = \frac{\sum_{i=2}^n (R_{(i,j)})(R_{(i-1,j)})}{\sum_{i=1}^n (R_{(i,j)})^2}.$$

O coeficiente de variação do tamanho ótimo da parcela foi calculado pela equação:

$$CV_{(X_0)} = \frac{100 \sqrt{(1-\hat{\rho}^2)S^2/\bar{Y}^2}}{\sqrt{X_0}}.$$

Etapa 2

Para os dados do experimento com tratamentos realizou-se a análise de variância (ANOVA) e também a análise de covariância (ANCOVA), considerando a covariável estimada das três formas descritas na etapa 1 da análise. Na etapa 2, os resíduos utilizados no cálculo das covariáveis, foram obtidos através da mesma equação utilizada para cálculo dos resíduos na etapa 1, porém considerando i tratamentos e j blocos.

A avaliação da precisão experimental na quando utilizado ANOVA e ANCOVA foi procedida com base na estimativa das estatísticas: Coeficiente de variação (CV%); F calculado para tratamento ($F_{\text{calculado}}$); Quadrado médio do erro (QM_E); nível mínimo de significância do teste F para efeito de tratamento (nms); diferença mínima significativa entre dois tratamentos pelo teste de Tukey (Δ): $\Delta = q_{\alpha(n;GL_E)} \sqrt{QM_E / J}$, em que, $q_{\alpha(n;GL_E)}$ é o valor da tabela do teste de Tukey, n é o número de tratamentos, GL_E é o grau de liberdade do erro, QM_E é o quadrado médio do erro, J é o número de repetições; diferença mínima significativa pelo teste de Tukey em porcentagem da média (DMS): $DMS = 100 * \Delta / \hat{m}$, em que, \hat{m} é a estimativa da média geral do ensaio.

Antes da realização da ANOVA e da ANCOVA foram testados os pressupostos: aditividade dos efeitos do modelo, normalidade, homogeneidade e aleatoriedade dos erros. Além disso, para realização da ANCOVA, testaram-se os seguintes pressupostos: a covariável é independente do efeito de tratamentos; o coeficiente de regressão da variável sobre a covariável, depois de removidos os efeitos de tratamentos e de blocos, é linear independente dos tratamentos e blocos. As análises foram realizadas no software SOC/NTIA/Embrapa e no aplicativo Office Excel. Todas as análises foram realizadas admitindo-se 5% de probabilidade de erro.

Resultados e Discussão

Houve atendimento aos pressupostos da aditividade dos efeitos do modelo, normalidade, homogeneidade e aleatoriedade dos erros, mostrando que é correto realizar a análise dos dados pela via paramétrica. Além disso, a covariável não apresentou correlação com os tratamentos e o coeficiente de regressão da variável sobre a covariável, foi linear independente dos tratamentos e blocos. Isso demonstra que, se a covariável for eficiente para o ajuste da covariável, é correto o uso da análise de covariância utilizando as covariáveis testadas.

Em 100% das situações testadas (ambientes, tamanhos de parcela e estações de cultivo), o ajuste com a covariável estimada pelo método Papadakis gerou redução do coeficiente de variação (CV%), indicando redução na variabilidade (Tabelas 1 e 2). A partir desses resultados é possível inferir que o uso da covariável calculada pelo método será eficiente na redução do erro experimental em experimentos com a cultura da alface onde se teste tratamentos, tal qual ocorre em experimentos com outras culturas (Cargnelutti Filho et al., 2003; Souza et al., 2003; Costa et al., 2005; Storck et al., 2008; Storck et al., 2009; Storck et al., 2010).

Dentre as formas de ajuste, a melhor foi aquela realizada pela covariável C1, essa forma possibilitou o menor valor do coeficiente de variação (CV) em relação ao não ajustado, em 95,8, 94,4 e 100% dos testes, respectivamente, na estufa, túnel e campo. A forma de estimativa da covariável que possibilitou o pior resultado em termos de redução de CV foi a C3, usando essa, ocorreu a menor redução do CV em 75,0, 88,9 e 83,3% dos testes, respectivamente na estufa, túnel e campo (Tabelas 1 e 2). Resultados similares foram obtidos por Cargnelutti Filho et al., (2003) para milho, onde a melhor forma de cálculo da covariável foi a que considerou um vizinho de cada lado da parcela considerada. Dessa forma a covariável C1 deve ser preferida para uso na ANCOVA em experimentos com alface, pois na maioria das situações possibilitará um melhor resultado em termos de melhoria da qualidade

do experimento. A covariável C3 deve ser evitada, pois reduzirá o potencial de melhoria de qualidade do experimento com o uso da ANCOVA com covariável calculada pelo método Papadakis.

Para todas as situações onde houve ajustamento pela covariável obtida pelo método Papadakis, houve a redução no tamanho ótimo da parcela. O menor tamanho de parcela ocorreu para o ajustamento com a covariável C1 (Tabela 3). A possibilidade de usar menores tamanhos de parcela para o ajuste com a C1 ocorre, pois o tamanho de parcela está diretamente relacionado a variabilidade existente, e essa foi menor no ajuste pela C1. Além da redução nos tamanhos de parcela, em todas as situações, os CV% dos tamanhos de parcela foram menores para as situações onde houve o ajuste pelo método Papadakis (Tabela 3). Isso torna evidente os benefícios do uso do método, pois além de possibilitar a redução do tamanho de parcela, possibilita que os tamanhos de parcela possibilitem maior precisão aos experimentos.

Considerando um tamanho de parcela único por ambiente, para o ajuste pela covariável C1, o tamanho de parcela foi de quatro plantas para estufa e túnel, e de cinco plantas para o campo, o que equivale a uma abrangência na linha de cultivo de 1,2 m e 1,5 m, respectivamente. Em termos de número de plantas, houve uma redução no tamanho de parcela em relação ao não ajustado de 33% na estufa e túnel e 36% para o campo (Tabela 3). A necessidade de maiores tamanhos de parcela nos experimentos a campo corrobora os resultados obtidos por Lúcio et al. (2011), também para a cultura da alface.

Esses mesmos autores observaram que o uso de um tamanho de parcela inferior ao ótimo da cultura da alface, levaria a um aumento de até 60% da diferença mínima significativa entre médias em algumas situações. No entanto, muitas vezes, o pesquisador necessita usar tamanhos de parcela menores de modo a aumentar o número de repetições ou adequar o número de tratamentos a área experimental disponível. Esse problema pode ser

contornado com o uso do tamanho de parcela ajustado para posterior uso da ANCOVA com a covariável estimada pelo método Papadakis, que possibilita a redução do tamanho da parcela. Além disso, o uso do tamanho de parcela prevendo uso de ANCOVA com covariável estimada pelo método Papadakis, pode potencializar os benefícios dessa técnica, uma vez que o tamanho de parcela estaria adequado à variabilidade que ocorrerá na área experimental.

Houve efeito significativo da covariável nas três ANCOVAs realizadas, indicando que é possível o uso dessa técnica com qualquer uma das três formas de cálculo da covariável (Tabela 4). Esse resultado concorda com os de Cargnelutti Filho et al. (2003), onde todas as formas de cálculo da covariável geraram um covariável eficiente para uso na ANCOVA. Apesar disso, a redução do quadrado médio do erro (QMe) proporcionada pela ANCOVA, não foi suficiente para que fosse detectado efeito de tratamento em nenhuma das formas de estimativa da covariável (Tabela 4). Isso ocorreu porque na ANOVA o quadrado médio de tratamento (QMt) apresentou um valor similar ao QMe, levando a um valor elevado para o nível mínimo de significância do teste F (nms) para tratamento (Tabela 4). Dessa forma, apesar do nms ter reduzido em 88,9% para a ANCOVA 2, a redução não foi suficiente para a rejeição da hipótese de nulidade em nível de 5% de probabilidade de erro.

O uso da ANCOVA com a covariável estimada pelo método Papadakis reduziu a estimativa das estatísticas CV, Δ e DMS e aumentou a do $F_{\text{calculado}}$ nas três formas de estimativa da covariável (Tabela 5), o que ocorreu devido a redução do QMe (Tabela 4). Esses resultados reforçam a idéia sustentada nesse trabalho de que o uso de ANCOVA com a covariável estimada pelo método Papadakis proporciona melhorias à qualidade de experimentos com a cultura da alface, ficando evidente principalmente pela estimativa do $F_{\text{calculado}}$ que aumentou em 100% na ANCOVA 2 (Tabela 5). Esta melhoria na qualidade dos experimentos com alface corrobora com os resultados obtidos para as culturas do milho, soja

e feijão (Cargnelutti Filho et al., 2003; Souza et al., 2003; Costa et al., 2005; Storck et al., 2008; Storck et al., 2009; Storck et al., 2010).

O melhor resultado em termos de melhoria dessas estatísticas indicadoras de qualidade experimental foi obtido quando utilizado a covariável C1 e o pior quando utilizada a C3 (Tabela 5). Esse resultado confirma aquele obtido a partir dos experimentos em branco, onde a C3 foi a covariável que conferiu o pior ajuste. No entanto, discorda em relação à melhor forma de cálculo da covariável, uma vez que, nos experimentos em branco, o melhor ajuste foi aquele realizado pela C1. Apesar dessa discordância, a covariável preferida para uso em ANCOVA em experimentos com alface deve ser a C1, uma vez que essa informação foi obtida através de um banco de dados maior, onde foram contemplados diversos ambientes e épocas de cultivo, e o experimento com tratamentos reflete apenas uma situação específica.

Conclusões

- 1) O uso de análise de covariância (ANCOVA) com a covariável estimada pelo método Papadakis aumenta a qualidade de experimentos com alface e possibilita o uso de menores tamanhos de parcela.
- 2) A forma de estimativa da covariável que proporciona a maior eficiência da ANCOVA é aquela que considera uma parcela vizinha de cada lado da parcela de referência no sentido da linha de cultivo (C1).
- 3) O tamanho de parcela na linha de cultivo, ajustado para uso de ANCOVA com a covariável estimada pelo método Papadakis considerando a C1, é de quatro plantas (1,2 m) para estufa e túnel, e de cinco plantas (1,5 m) para o campo.

Referências

- BAUMGARTNER, D.; SAMPAIO, S. C.; SILVA, T. R.; TEO, C. R. P. A.; VILAS BOAS, M. A. Reúso de águas residuárias da piscicultura e da suinocultura na irrigação da cultura da alface. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 1, p. 152-163, 2007.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L.; LÚCIO, A. D. Ajustes de quadrado médio do erro em ensaios de competição de cultivares de milho pelo método de Papadakis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 467-473, abr. 2003.
- COSTA, J. R., BUENO FILHO, J. S. S.; RAMALHO, M. A. P. Análise espacial e de vizinhança no melhoramento genético de plantas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 11, p. 1073-1079, nov. 2005.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.
- IBGE **Censo agropecuário: Brasil**. Rio de Janeiro, 2006. Online. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 20 maio 2011.
- LORENTZ, L. H.; LÚCIO, A. D.; BOLIGON, A. A.; LOPES, S. J.; STORCK, L. Variabilidade da produção de frutos de pimentão em estufa plástica. **Ciência Rural**, v. 35, n. 02, p. 316-323, 2005.
- LÚCIO, A. D.; CARPES, R. H.; STORCK, L.; LOPES, S. J.; LORENTZ, L. H.; PALUDO, A. L. Variância e média da massa de frutos de abobrinha-italiana em múltiplas colheitas. **Horticultura Brasileira**, v. 26, n. 03, p. 335-341, 2008.
- LÚCIO, A. D.; HAESBAERT, F. M.; SANTOS, D.; BENZ, V. Estimativa do tamanho de parcela para experimentos com alface. **Horticultura Brasileira**, v. 29, p. 510-515, 2011.

MARODIM, V. S.; STORCK, L.; LOPES, S. J.; SANTOS, O. S.; SCHIMIDT, D. Delineamento experimental e tamanho de amostra para alface cultivada em hidroponia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.5, p.779-781, 2000.

MORENO, J. A. **Clima no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 41 p.

OLIVEIRA, N. G.; DE-POLLI, H.; ALMEIDA, D. L.; GUERRA, J. G. M. Plantio direto de alface adubada com cama de aviário sobre coberturas vivas de grama e amendoim forrageiro. **Horticultura Brasileira**, v. 24, n. 1, 2006.

PAPADAKIS, J. S. **Méthode statistique pour des expériences sur champ**. Thessalonike: Institut d'Amélioration des Plantes à Salonique, 1937. 30p. (Bulletin, 23).

PARANAIBA, P. F.; FERREIRA, D. F.; MORAIS, A. R. Tamanho ótimo de parcelas experimentais: proposição de métodos de estimação. **Revista Brasileira de Biometria**, São Paulo, v. 27, n. 2, p. 255-268, abr./jun. 2009.

PIMENTEL, M. S.; LANA, A. M. Q.; DE-POLLI, H. Rendimentos agronômicos em consórcio de alface e cenoura adubadas com doses crescentes de composto orgânico. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 1, p. 106-112, 2009.

RADIN, B.; REISSER JÚNIOR, C.; MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H. Crescimento de cultivares de alface conduzidas em estufa e a campo. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 2, 2004.

SANTOS, D.; HAESBAERT, F. M.; PUHL, O. J.; SANTOS, J. R. A.; LÚCIO, A. D. Suficiência amostral para alface cultivada em diferentes ambientes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 4, p. 800-805, 2010.

SCHWERTNER, D. V. **Produção de tomateiro cultivado com Acrescent Solus®**. 2012. 73 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

SOUZA, E. A.; GERALDI, I. O.; RAMALHO, M. A. P.; BERTOLUCCI, F. L. G. Experimental alternatives for evaluation of progenies and clones in eucalyptus breeding programs. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 427-434, jul./ago. 2003.

SOUZA, E. A.; GERALDI, I. O.; RAMALHO, M. A. P. Alternativas experimentais na avaliação de famílias em programas de melhoramento genético de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 9, p. 1765-1771, set. 2000.

STORCK L.; GARCIA D.C.; LOPES S.J.; ESTEFANEL V. **Experimentação vegetal**. 2.ed. Santa Maria: Ed. da UFSM. 2006.198p.

STORCK, L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; LÚCIO, A. D.; LOPES, S. J. Método de Papadakis e número de repetições em experimentos de soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, p. 977-982, jul. 2009.

STORCK, L.; STECKLING, C.; ROVERSI, T.; LOPES, S. J. Utilização do método de Papadakis na melhoria da qualidade experimental de ensaios com soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 5, p. 581-587, maio 2008.

STORCK, L.; LOPES, S. J.; CARGNELUTTI FILHO, A.; LÚCIO, A. D.; TOEBE, M. Experimental precision in corn trials using the Papadakis method. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 6, p. 1458-1464, nov./dez. 2010.

Tabelas

Tabela 1 - Variância (s^2) (em $g.10^3$) e coeficiente de variação (CV%) para massa fresca de alface cultivada em estufa e a campo no ano de 2007, considerando diferentes tamanhos de parcela, sem ajuste (SA) e com ajuste através das covariáveis estimadas pelo método Papadakis (C1, C2, C3)*.

	-----Estufa (inverno)-----				-----Estufa (verão)-----			
	SA	C1	C2	C3	SA	C1	C2	C3
	Parcela com 1 planta							
s^2	1,71	1,19	1,35	1,47	7,06	2,62	3,43	4,29
CV%	33,96	28,03	29,94	31,48	35,31	21,37	24,5	27,57
	Parcela com 2 plantas							
s^2	3,28	1,97	2,59	2,96	22,82	8,85	16,98	19,88
CV%	23,36	17,83	20,49	22,12	31,72	19,64	27,16	29,32
	Parcela com 3 plantas							
s^2	3,93	2,31	2,86	3,08	37,47	20,37	30,86	31,46
CV%	16,9	12,77	14,53	15,14	26,86	19,17	24,06	24,04
	Parcela com 4 plantas							
s^2	6,57	4,75	5,24	5,85	76,65	60,36	66,57	63,39
CV%	15,95	13,33	14,34	15,16	28,46	24,7	26,15	25,7
	Parcela com 6 plantas							
s^2	8,56	4,68	6,48	7,27	95,31	73,41	85,39	79,96
CV%	12,26	9,18	10,56	11,21	21,19	18,05	20,06	19,5
	Parcela com 8 plantas							
s^2	14,13	12,07	12,69	10,26	61,37	40,55	44,71	45,93
CV%	11,65	10,63	10,95	10,03	11,99	9,61	10,44	10,45
	-----Campo (inverno)-----				-----Campo (verão)-----			
	Parcela com 1 planta							
s^2	0,62	0,26	0,38	0,41	3,34	1,33	1,69	1,93
CV%	42,88	28,52	33,75	35,42	52,34	32,73	36,75	39,14
	Parcela com 2 plantas							
s^2	1,84	0,85	0,94	1,23	10,22	3,61	6,22	8,14
CV%	35,97	23,18	25,96	29,38	45,87	26,59	34,79	40,54
	Parcela com 3 plantas							
s^2	3,16	1,15	1,82	1,89	15,68	5,82	11,34	12,5
CV%	30,23	18,92	23,03	23,31	37,98	22,59	31,96	33,6
	Parcela com 4 plantas							
s^2	5,39	2,39	3,04	4,01	34,24	21,6	28,66	26,72
CV%	30,89	21,09	23,66	26,86	42	32,37	38	36,67
	Parcela com 6 plantas							
s^2	10,7	5,19	8,67	8,71	44,51	31,13	32,63	41,67
CV%	27,28	17,85	23,46	25,06	31,31	25,66	26,23	30,21
	Parcela com 8 plantas							
s^2	14,07	6,64	10,22	12,31	66,25	41,14	62,97	56,65
CV%	22,99	14,54	19,64	20,54	28,93	21,6	28,18	26,87

$$* C1 = [R_{(i,j)} + R_{(i-1,j)} + R_{(i+1,j)}]^{1/3}$$

$$C2 = [R_{(i,j)} + R_{(i-1,j)} + R_{(i-2,j)} + R_{(i+1,j)} + R_{(i+2,j)}]^{1/5}$$

$$C3 = [R_{(i,j)} + R_{(i-1,j)} + R_{(i-2,j)} + R_{(i-3,j)} + R_{(i+1,j)} + R_{(i+2,j)} + R_{(i+3,j)}]^{1/7}$$

Tabela 2 - Variância (s^2) (em $g.10^3$) e coeficiente de variação (CV%) para massa fresca de alface cultivada em estufa e túnel no ano de 2008, considerando diferentes tamanhos de parcela, sem ajuste (SA) e com ajuste através das covariáveis estimadas pelo método Papadakis (C1, C2, C3)*.

	-----Estufa (outono)-----				----Estufa (primavera)----				-----Túnel 1 (outono)-----			
	SA	C1	C2	C3	SA	C1	C2	C3	SA	C1	C2	C3
	Parcela com 1 planta											
s^2	7,58	4,62	5,26	5,72	15,11	8,15	9,21	9,90	10,36	7,00	7,52	8,00
CV	34,95	25,77	28,16	29,38	30,53	21,59	22,87	23,78	45,70	36,45	38,94	39,65
	Parcela com 2 plantas											
s^2	16,28	6,82	10,29	11,07	37,89	14,21	19,46	19,82	20,99	7,42	11,67	14,96
CV	25,92	15,53	19,70	20,76	24,50	14,00	16,35	16,74	32,91	20,41	24,76	28,41
	Parcela com 3 plantas											
s^2	28,00	13,87	18,48	17,20	66,42	23,69	27,77	36,15	36,21	14,70	23,89	31,44
CV	23,27	15,52	18,25	17,76	21,74	12,17	13,47	15,18	28,77	18,20	23,77	26,83
	Parcela com 4 plantas											
s^2	43,95	23,90	24,93	26,57	112,41	33,62	55,48	71,38	49,84	28,15	42,51	47,21
CV	21,84	15,73	16,17	17,00	21,28	11,02	14,10	15,99	25,00	18,66	23,12	24,27
	Parcela com 6 plantas											
s^2	71,45	24,23	44,98	51,63	210,20	61,59	132,26	158,27	67,98	51,32	67,20	66,62
CV	18,77	10,92	15,03	16,04	19,34	9,88	13,97	15,19	20,53	18,02	20,38	20,34
	Parcela com 8 plantas						Parcela com 10 plantas					
s^2	99,89	35,56	69,40	62,69	348,2	133,8	226,0	224,6	86,35	85,30	65,67	62,14
CV	16,09	9,44	13,25	13,35	18,55	10,35	13,17	13,69	13,87	13,74	12,19	11,41
	-----Túnel 1 (primavera)-----				-----Túnel 2-outono-----				-----Túnel 2 (primavera)----			
	Parcela com 1 planta											
s^2	49,41	15,95	17,90	19,27	12,69	6,37	7,53	8,90	26,90	18,02	22,53	22,72
CV	41,58	23,60	24,83	25,79	37,59	25,98	28,75	31,01	23,84	19,29	21,80	21,85
	Parcela com 2 plantas											
s^2	158,22	35,94	39,24	44,90	32,12	13,75	19,22	19,35	60,89	46,59	39,99	46,98
CV	37,16	17,35	18,49	19,75	29,94	19,04	22,86	23,29	17,98	15,52	14,34	15,59
	Parcela com 3 plantas											
s^2	329,69	55,82	80,27	92,38	61,25	31,43	34,62	37,27	73,70	30,70	45,71	44,26
CV	35,73	14,62	17,58	18,82	27,48	19,69	20,69	21,65	13,05	7,94	9,96	10,08
	Parcela com 4 plantas											
s^2	528,51	55,95	102,81	148,62	91,74	39,12	46,42	48,92	112,23	48,57	66,64	76,63
CV	33,75	10,84	14,61	17,77	25,23	16,50	18,07	18,54	12,22	7,65	9,33	10,09
	Parcela com 6 plantas											
s^2	1214,4	235,3	345,34	467,95	161,31	61,58	67,58	91,73	207,59	89,61	148,64	146,28
CV	34,20	14,89	18,13	21,33	22,14	13,63	14,15	16,71	11,04	7,13	9,37	9,15
	Parcela com 10 plantas											
s^2	3153,0	664,2	1133,2	936,9	317,6	63,08	235,6	117,8	473,62	263,26	419,77	416,08
CV	32,78	14,83	19,78	17,71	18,77	7,98	15,95	11,07	9,81	7,05	9,12	9,21

$$* C1 = [R_{(i,j)} + R_{(i-1,j)} + R_{(i+1,j)}]^{1/3}$$

$$C2 = [R_{(i,j)} + R_{(i-1,j)} + R_{(i-2,j)} + R_{(i+1,j)} + R_{(i+2,j)}]^{1/5}$$

$$C3 = [R_{(i,j)} + R_{(i-1,j)} + R_{(i-2,j)} + R_{(i-3,j)} + R_{(i+1,j)} + R_{(i+2,j)} + R_{(i+3,j)}]^{1/7}$$

Tabela 3 - Tamanho ótimo de parcela (X_0), em número de plantas, e coeficiente de variação do X_0 ($CV_{(X_0)}$), em %, para a massa fresca de alface em experimentos em estufa, túnel e a campo, sem ajuste (SA) e com ajuste através das covariáveis estimadas pelo método Papadakis (C1, C2, C3)*.

	-- X_0 --	-- $CV_{(X_0)}$ --	-- X_0 --	-- $CV_{(X_0)}$ --	-- X_0 --	-- $CV_{(X_0)}$ --	-- X_0 --	-- $CV_{(X_0)}$ --	-- X_0 --	-- $CV_{(X_0)}$ --
	Estufa		Estufa		Túnel 1		Túnel 1		Túnel 2	
	(outono, 2008)		(primavera, 2008)		(outono, 2008)		(primavera, 2008)		(outono, 2008)	
SA	6	8,74	6	12,29	7	16,37	6	14,25	6	12,42
C1	4	5,81	4	8,20	5	12,00	4	8,62	4	7,81
C2	5	7,55	4	10,06	6	14,04	5	10,60	5	10,14
C3	5	7,55	5	10,43	6	14,53	5	11,13	6	11,31
	Túnel 2		Estufa		Estufa		Campo		Campo	
	(primavera, 2008)		(verão, 2007)		(inverno, 2007)		(verão, 2007)		(inverno, 2007)	
SA	5	10,80	6	13,42	6	13,50	8	17,39	7	15,40
C1	4	7,91	4	8,28	4	10,01	5	10,97	5	10,13
C2	4	9,90	5	10,79	5	12,04	6	13,98	6	13,41
C3	4	10,04	5	11,87	6	12,54	7	14,90	6	13,90

$$* C1 = [R_{(i,j)} + R_{(i-1,j)} + R_{(i+1,j)}]^{1/3}$$

$$C2 = [R_{(i,j)} + R_{(i-1,j)} + R_{(i-2,j)} + R_{(i+1,j)} + R_{(i+2,j)}]^{1/5}$$

$$C3 = [R_{(i,j)} + R_{(i-1,j)} + R_{(i-2,j)} + R_{(i-3,j)} + R_{(i+1,j)} + R_{(i+2,j)} + R_{(i+3,j)}]^{1/7}$$

Tabela 4 - Resumo das análises de variância (ANOVA) e covariância considerando a covariável estimada pelo método Papadakis pelas formas 1 (ANCOVA 1), 2 (ANCOVA 2) e 3 (ANCOVA 3), para variável massa fresca de alface a campo.

FV	GL	QM	nms*
ANOVA			
Bloco	2	20747,087	0,000
Tratamento	15	1958,239	0,477
Erro	30	1951,840	
ANCOVA 1			
Tratamento	15	1958,239	0,087
Cov1	1	26852,435	0,000
Erro	29	1093,199	
ANCOVA 2			
Tratamento	15	1958,239	0,053
Cov2	1	30191,960	0,000
Erro	29	978,043	
ANCOVA 3			
Tratamento	15	1958,239 ^{ns}	0,089
Cov3	1	26699,543*	
Erro	29	1098,471	

* FV= fonte de variação; GL= graus de liberdade; QM= quadrado médio; nms= nível mínimo de significância associado ao teste F.

Tabela 5 - Coeficiente de variação (CV%), valor de F calculado para efeito de tratamento (F calculado), diferença mínima significativa entre dois tratamentos pelo teste de Tukey (Δ) e diferença mínima significativa pelo teste de Tukey em porcentagem da média (DMS), para a análise de variância (ANOVA) e análise de covariância considerando a covariável estimada pelo método Papadakis pelas formas 1 (ANCOVA 1), 2 (ANCOVA 2) e 3 (ANCOVA 3), com os respectivos aumentos ou reduções em relação a ANOVA, para variável massa fresca de alface a campo.

Estadística	ANOVA	ANCOVA 1	ANCOVA 2	ANCOVA 3
CV%	15,225	11,394 (-25%)	10,777 (-29%)	11,422 (-25%)
F calculado	1,003	1,791 (+79%)	2,002 (+100%)	1,783 (+78%)
Δ	134,423	100,982 (-25%)	95,516 (-29%)	101,225 (-25%)
DMS	46,323	34,8 (-25%)	32,916 (-29%)	34,883 (-25%)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados neste trabalho evidenciam que a forma de estimativa da covariável para uso na análise de covariância (ANCOVA) que possibilita os melhores resultados em termos de redução do erro experimental em experimentos com abobrinha italiana, alface, feijão-vagem e pimentão, é aquela que considera uma parcela vizinha de cada lado da parcela de referência no sentido da linha de cultivo. Diante do grande número de experimentos e de culturas testadas nesse trabalho, na ausência de estudos específicos, pode-se extrapolar esse resultado para culturas olerícolas de forma geral.

Nesse estudo também são apresentados tamanhos de parcela ajustados para uso em experimentos com abobrinha italiana, alface, feijão-vagem e pimentão, onde será utilizada a ANCOVA através da covariável calculada pelo método Papadakis. Essa informação é de grande importância no planejamento de experimentos com essas culturas, uma vez que o tamanho de parcela depende da variabilidade inerente à área e material experimental (STORCK et al., 2006). A variabilidade, segundo os resultados apresentados nesse trabalho, é alterada com o uso do método Papadakis, o que evidencia a necessidade de adequação do tamanho de parcela a esta variabilidade. Esse tamanho de parcela ajustado é menor que o tamanho não ajustado, proporcionando diversos benefícios, tais como, a possibilidade de aumento do número de tratamentos dentro de cada bloco (linha de cultivo), ou até a redução do tamanho do experimento.

Para os experimentos com tratamentos estudados nesse trabalho, mesmo com a aplicação da ANCOVA com a covariável estimada pelo método Papadakis, não foi detectado efeito de tratamento via teste F. Apesar disso foi evidente o aumento na qualidade do experimento expressa pela redução no quadrado médio do erro (QMe), que se refletiu em melhoria nas principais estatísticas que descrevem o erro experimental. Isso mostra que em situações onde se esteja mais próximo de obter significância no teste F, o método possibilitará a detecção do efeito de tratamento.

Os resultados do trabalho mostram que o uso da ANCOVA com a covariável estimada pelo método Papadakis melhora a qualidade de experimentos com culturas olerícolas, concordando com os resultados obtidos para outras culturas (CARGNELUTTI FILHO et al., 2003; STORCK et al., 2008; STORCK et al., 2009; STORCK et al., 2010). Além disso, os benefícios proporcionados pelo método podem ser potencializados pelo uso da forma de

estimativa da covariável e do tamanho de parcela ajustado para uso do método, indicados nesse trabalho.

CONCLUSÕES

- 1) O uso de análise de covariância (ANCOVA) com a covariável estimada pelo método Papadakis aumenta a qualidade de experimentos com culturas olerícolas e possibilita o uso de menores tamanhos de parcela.
- 2) A forma de estimativa da covariável que proporciona a maior eficiência da ANCOVA é aquela que considera uma parcela vizinha de cada lado da parcela de referência no sentido da linha de cultivo (C1).
- 3) O tamanho de parcela na linha de cultivo, ajustado para uso do método Papadakis, considerando C1, é de 10 plantas (2,0 m) para feijão-vagem, de cinco plantas (4,5 m) para abobrinha italiana, cinco plantas (1,5 m) para pimentão, e de quatro plantas (1,2 m) para alface.

REFERÊNCIAS

CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L.; LÚCIO, A. D. Ajustes de quadrado médio do erro em ensaios de competição de cultivares de milho pelo método de Papadakis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 467-473, abr. 2003.

CARPES R. H. et al. Variabilidade produtiva e agrupamentos de colheitas de abobrinha italiana cultivada em ambiente protegido. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 2, p. 294-301, fev. 2010.

CARPES, R. H. et al. Ausência de frutos colhidos e suas interferências na variabilidade da fitomassa de frutos de abobrinha italiana cultivada em diferentes sistemas de irrigação. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 55, n. 6, p. 590-595, nov./dez. 2008.

COSTA, J. R., BUENO FILHO, J. S. S.; RAMALHO, M. A. P. Análise espacial e de vizinhança no melhoramento genético de plantas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 11, p.1073-1079, nov. 2005.

FOX, J. C.; BI, H.; ADES, P. K. Spatial dependence and individual-tree growth models: II. Modelling spatial dependence. **Forest Ecology and Management**, Columbus, v. 245, p. 20-30, jun. 2007.

HAESBAERT, F. M. et al. Tamanho de amostra para experimentos com feijão-de-vagem em diferentes ambientes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 1, p. 38-44, jan. 2011.

HELDWEIN, A. B. et al. Plastocrono e rendimento de feijão-de-vagem cultivado sob ambiente protegido e no ambiente externo em semeadura tardia no outono. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 4, p. 768-773, abr. 2010.

IBGE **Censo agropecuário: Brasil**. Rio de Janeiro, 2006. Online. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 20 maio 2011.

LOPES, S. J. et al. Técnicas experimentais para tomateiro tipo salada sob estufas plásticas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 28, n. 2, p. 193-197, abr./jun. 1998.

LORENTZ, L. H. et al. Variabilidade da produção de frutos de pimentão em estufa plástica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 316-323, mar./abr. 2005.

LÚCIO, A. D. et al. Variância e média da massa de frutos de abobrinha-italiana em múltiplas colheitas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 3, p. 335-341, jul./set. 2008.

LÚCIO, A. D. et al. Variação temporal da produção de pimentão influenciada pela posição e características morfológicas das plantas em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 1, p. 31-35, jan./mar. 2006.

PAPADAKIS, J. S. **Méthode statistique pour des expériences sur champ**. Thessalonike: Institut d'Amélioration des Plantes à Salonique, 1937. 30p. (Bulletin, 23).

PEREIRA, A. V. et al. Respostas do feijão-vagem cultivado sob proteção com agrotêxtil em duas densidades de plantas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 3, p. 564-569, jul.-set. 2003.

QUEIROGA, R. C. F. et al. Utilização de diferentes materiais como cobertura morta do solo no cultivo de pimentão. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 3, set. 2002.

SANTOS, D. et al. Suficiência amostral para alface cultivada em diferentes ambientes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 4, p. 800-805, abr. 2010.

SANTOS, R. H. S. et al. Efeito residual da adubação com composto orgânico sobre o crescimento e produção de alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1395-1398, nov. 2001.

SEGOVIA, J. F. O. et al. Comparação do crescimento e desenvolvimento da alface (*Lactuca sativa* L.) no interior e no exterior de uma estufa de polietileno em Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 37-41, jan./mar. 1997.

SOUZA, E. A. et al. Experimental alternatives for evaluation of progenies and clones in eucalyptus breeding programs. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 427-434, jul./ago. 2003.

SOUZA, E. A.; GERALDI, I. O.; RAMALHO, M. A. P. Alternativas experimentais na avaliação de famílias em programas de melhoramento genético de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 9, p. 1765-1771, set. 2000.

STORCK, L. et al. Experimental precision in corn trials using the Papadakis method. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 6, p. 1458-1464, nov./dez. 2010.

STORCK, L. et al. **Experimentação vegetal**. 2. ed. Santa Maria: Ed. da UFSM, 2006. 198 p.

STORCK, L. et al. Método de Papadakis e número de repetições em experimentos de soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, p. 977-982, jul. 2009.

STORCK, L. et al. Utilização do método de Papadakis na melhoria da qualidade experimental de ensaios com soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 5, p. 581-587, maio 2008.

STRASSBURGER, A. S. et al. Dinâmica de crescimento da abobrinha italiana em duas estações de cultivo. **Acta Scientiarum - Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 283-289, abr./jun. 2011.

TEODORO, R. E. F.; OLIVEIRA, A. S.; MINAMI, K. Efeitos da irrigação por gotejamento na produção de pimentão (*Capsicum annuum* L.) em casa-de-vegetação. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 50, n. 2, set. 1993.