

Desempenho de sistemas consorciados de cenoura e alface avaliados através de métodos uni e multivariados

Francisco Bezerra Neto¹; Eliane G Gomes^{2,*}; Glauber Henrique de S Nunes¹; Eliane Q de Oliveira¹

¹UFERSA, C. postal 137, 59625-900 Mossoró-RN; ²Embrapa Sede, Parque Estação Biológica, Av. W3 Norte Final, 70770-901 Brasília-DF; *Bolsista CNPq; bezerra@ufersa.edu.br; eliane.gomes@embrapa.br

RESUMO

A análise de dados provenientes de experimentos de consorciação geralmente é mais complexa do que as advindas de experimentos em cultivo solteiro. Nesta situação, vários tipos de análises são recomendados, como análise univariada de variância do rendimento das culturas componentes separadamente; dos rendimentos combinados dos sistemas consorciados; da eficiência produtiva por modelos de análise de envoltória de dados (DEA) ou de métodos de análise multivariada dos rendimentos das culturas associadas. Neste trabalho, o objetivo foi avaliar o desempenho biológico de sistemas consorciados de cenoura e alface crespa através de métodos uni e multivariados. Dois experimentos (um consorciado e outro solteiro) foram conduzidos em blocos casualizados completos, com quatro repetições. O experimento consorciado foi conduzido em esquema fatorial $2 \times 4 + 2$, com os tratamentos provenientes da combinação de duas cultivares de cenoura (Alvorada e Brasília) com quatro cultivares de alface crespas (Lucy Brown, Tainá, Laurel e Verônica) e as duas cvs. de cenoura sem consorciação. Os tratamentos do experimento solteiro consistiram das quatro cvs. de alface testadas. As características avaliadas na alface e cenoura foram massa fresca da parte aérea e rendimento de raízes comerciais, respectivamente. Análises uni e multivariadas de variância foram realizadas nas características avaliadas tanto na alface como na cenoura em função dos fatores tratamentos testados. O método multivariado mostrou-se bastante informativo, em função da maior capacidade discriminante, além da descrição da superioridade relativa dos tratamentos por meio da técnica das variáveis canônicas. Os índices combinados de medida de eficiência dos sistemas consorciados tiveram comportamento similar na discriminação dos melhores sistemas de cultivo consorciados quando avaliados pelo método univariado. Na avaliação de todos os sistemas consorciados, observou-se diferença significativa entre os valores dos índices combinados (produtividade equivalente de cenoura, eficiência produtiva, uso eficiente da terra e escore da variável canônica) apenas quando eles foram avaliados através do escore normalizado da variável canônica, com maior eficiência dos sistemas quando a cenoura foi consorciada com a alface 'Lucy Brown'. Os sistemas consorciados de cenoura 'Alvorada' + alface 'Lucy Brown' ou de cenoura 'Brasília' + alface 'Lucy Brown' são aqueles a serem indicados ao produtor.

Palavras-chave: *Daucus carota*, *Lactuca sativa*, eficiência de sistemas consorciados, análise de envoltória de dados, análise multivariada.

ABSTRACT

Biological performance of carrot and lettuce intercropping systems as assessed through uni- and multivariate methods

Intercropping experiments' data analysis is usually a complex task, as compared to those data analysis from sole crops. In these cases are recommended univariate analysis of variance for each crop yield; intercropping combined systems yields; productive efficiency measured with data envelopment analysis (DEA) models; and multivariate analysis. In this work we evaluated the biological performance of carrot and crisphead lettuce intercropping systems through uni- and multivariate methods. Two experiments (one in intercropping and another in sole crop) were carried out in a randomized complete block design with four replications. The intercropping experiment was designed in a $2 \times 4 + 2$ factorial scheme, with the treatments stemmed from the combination of two carrot cultivars (Alvorada and Brasília) with four crisphead lettuce cultivars (Lucy Brown, Tainá, Laurel and Verônica) plus two carrot cultivars in sole crop. The treatments of the experiment in sole crop consisted of those crisphead lettuce cvs. tested in intercropping experiment. The evaluated traits in lettuce and carrot crops were shoot fresh mass and commercial root yield, respectively. Uni- and multivariate analyses of variance were accomplished on these crop traits in function of the tested treatment-factors. The multivariate approach was more informative as compared to the univariate method, as it allowed better discrimination of the treatment-factors, beyond the description of the treatments' relative superiority through the canonic variable technique. The combined efficiency indices showed similar results in the discrimination of the best intercropping systems as assessed through univariate method. Significant differences were observed among the combined indices (carrot equivalent yield index, productive efficiency for DEA, land equivalent ratio, and score of canonic variable) in all evaluated intercropping systems, when evaluated through normalized score of the canonic variable, with the highest efficiency of the systems as the carrot was intercropped with lettuce 'Lucy Brown'. The intercropping systems of carrot 'Alvorada' + lettuce 'Lucy Brown' or carrot 'Brasília' + lettuce 'Lucy Brown' are those to be indicated to the farmers.

Keywords: *Daucus carota*, *Lactuca sativa*, intercropping efficiencies, data envelopment analysis, multivariate analysis.

(Recebido para publicação em 25 de julho de 2006; aceito em 28 de novembro de 2007)

A análise estatística de experimentos consorciados depende do delineamento experimental usado e das questões e objetivos que estão sendo propostos. Esses questionamentos e ob-

jetivos podem incluir o uso econômico tanto da terra como de recursos de mão-de-obra, maximização de rendimentos por unidade de área de terra, segurança alimentar, necessidade dietária

satisfatória entre outros, além da disponibilidade de ferramentas analíticas e habilidade em utilizá-las adequadamente (Kisyombe, 1990). Algumas decisões a respeito de como os experimentos

consorciados serão analisados e avaliados necessitam ser tomadas durante o planejamento experimental, para decidir corretamente quais informações serão coletadas durante o experimento. Um único modelo de análise estatística não será apropriado para avaliar as informações obtidas em um consórcio. Assim, o conhecimento de vários métodos de análise que apresentam uma finalidade específica, torna-se importante no perfeito entendimento do mecanismo de associação das culturas em consorciação com o meio ambiente (Gomes, 1983).

A análise de dados provenientes de experimentos de consorciação geralmente é mais complexa do que as advindas de experimento em cultivo solteiro. Segundo Kass (1978), quando a associação de culturas é feita por meio de plantas forrageiras ou de determinados cereais de grãos pequenos, não há separação entre as culturas na colheita, e a avaliação do sistema ou da combinação cultural pode ser feita pela produção total da parcela. No entanto, quando a consorciação é realizada entre hortaliças, como o caso de cenoura e alface, há em cada parcela a produção de raízes e de folhas das duas culturas, que diferem entre si quanto ao rendimento e valor nutritivo. Nessa situação, vários tipos de análises são recomendados, entre eles, análise univariada de variância do rendimento das culturas componentes separadamente; dos rendimentos combinados dos sistemas consorciados (UET e produção equivalente); de eficiência produtiva por modelos de Análise de envoltória de dados (*Data envelopment analysis*, DEA); e de métodos de análise multivariada dos rendimentos das culturas associadas.

O primeiro tipo de análise recomendado pode não satisfazer inteiramente, já que no sistema consorciado, interessa o julgamento da parcela conjunta e esta contém duas ou mais fontes de dados de naturezas diferentes (Geraldí, 1983). O segundo tipo de análise corresponde a avaliar as duas culturas em consórcio em termos de índice combinado do sistema consorciado (Índice de uso eficiente da terra, UET) ou com base em uma variável comum a ambas,

que pode ser a produção conjunta, tomada em termos de valor econômico e denominada de produção equivalente ou transformada. Segundo Ramalho *et al.* (1983), tem sido usual considerar a produção equivalente por meio de uma avaliação econômica, com uso da relação de preços entre as culturas. Uma das vantagens desse método é que não há necessidade de avaliar as respectivas culturas solteiras. Além disso, qualquer que seja a variável usada, uma análise univariada de variância pode ser aplicada e a análise conjunta, envolvendo o consórcio e o cultivo solteiro, pode ser feita sem maiores problemas (Ramalho *et al.*, 1983). No entanto, a principal crítica a essa alternativa decorre do fato de que as relações de preços de uma cultura para outra têm apresentado variações em função da oferta dos dois produtos a cada ano, nas diferentes regiões produtoras. Para superar essa dificuldade deve-se obter a produção equivalente de cada tratamento, por usar diferentes relações de preços representativas das situações de ocorrência comum em uma determinada região. Assim procedendo, é possível comparar os sistemas consorciados em uma amplitude maior de condições, através de uma análise de variância univariada dos valores das produções equivalentes. Esse método de análise foi usado por Wijesinha *et al.* (1982) na avaliação de um experimento de consorciação envolvendo dois genótipos de milho e quatro de feijão, oportunidade em que foram discutidas as possíveis alternativas para a escolha dos melhores tratamentos, supondo situações em que o mais importante era a obtenção de uma determinada produção de uma das culturas.

O uso de modelos DEA para a avaliação de experimentos consorciados foi proposto por Gomes & Souza (2005) e exemplificado para o caso de um consórcio de feijão e milho. Modelos DEA calculam a eficiência relativa de unidades produtivas e usam Problemas de Programação Linear (PPL), que otimizam cada observação individual de modo a estimar uma fronteira eficiente, linear por partes, composta das unidades que apresentam as melhores práticas dentro da amostra em avaliação. A eficiência relativa é definida como a ra-

zão da soma ponderada dos componentes do vetor de produção (*output*) pela soma ponderada dos componentes do vetor de recurso (insumo ou *input*) usado no processo de produção. Os pesos usados nas ponderações dos componentes de recursos e produtos são distintos e obtidos dos PPL de DEA. A vantagem do DEA é agregar em uma medida única as múltiplas respostas do experimento.

Conforme destacado por Gomes & Souza (2005), as medidas univariadas (aqui chamadas de eficiências produtivas) geradas pelos modelos DEA podem ser analisadas com as técnicas padrão de análise de variância e covariância. No caso de experimentos com resposta unidimensional, a análise é equivalente à prática usual. Além de generalizar os métodos clássicos de análise de experimentos, os autores destacaram que DEA empresta propriedades econômicas ótimas a esses processos e facilita a interpretação de experimentos complexos pela redução da dimensão do vetor resposta. Por outro lado, os métodos multivariados prestam-se muito bem para a análise de experimentos de consorciação, por causa do caráter multivariado dos dados (Federer & Murty, 1987). Análises de experimentos que levam em conta a natureza da resposta bivariada da parcela vêm sendo utilizadas por alguns investigadores (Pearce & Gilliver, 1978, 1979; Mead & Riley, 1981; Wijesinha *et al.*, 1982; Dear & Mead, 1983; Cruz *et al.*, 1991). Quando a performance de cada cultura pode ser sumarizada em um único rendimento, então uma análise bivariada de variância é a técnica mais poderosa disponível. A filosofia dessa análise é a de que os dois rendimentos devam ser analisados conjuntamente, pois leva em consideração as correlações entre os rendimentos das culturas consorciadas. Segundo Cruz *et al.* (1991), essa técnica propicia uma interpretação mais adequada dos resultados, por descrever a superioridade relativa dos tratamentos por meio do “rendimento do consórcio”, que considera, simultaneamente, os rendimentos das duas culturas componentes. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência biológica do consórcio de cenoura e alface crespa utilizando métodos uni e multivariados.

MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos, um consorciado e outro em cultivo solteiro, foram realizados na horta da UFERSA, em Mossoró-RN, de setembro a dezembro de 2002. O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico (Embrapa, 1999). Foram retiradas amostras da área experimental, cujas análises forneceram os seguintes resultados para os experimentos de cultivo solteiro e consorciado, respectivamente: pH (água 1:2,5) = 7,75 e 7,75; Ca = 7,40 e 7,12 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$; Mg = 4,30 e 4,22 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$; K = 2,00 e 1,42 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$; Na = 0,50 e 0,49 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$; Al = 0,00 e 0,00 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ e P = 127,50 e 152,50 mg dm^{-3} . Mossoró (5°11' S; 37°20' W; altitude de 18 m) caracteriza-se pelo clima seco e muito quente (segundo a classificação Köppen é BSw^h), com duas estações climáticas: uma seca, que vai geralmente de junho a janeiro, e, uma chuvosa, de fevereiro a maio (Carmo filho *et al.*, 1991).

O delineamento experimental utilizado em ambos experimentos foi blocos casualizados completos, com quatro repetições. O experimento em cultivo consorciado foi conduzido em esquema fatorial 2 x 4 + 2, sendo que os tratamentos consistiram das combinações de duas cultivares de cenoura (Alvorada e Brasília) com quatro cultivares de alface (Lucy Brown, Tainá, Laurel e Verônica) e as duas cvs. de cenoura sem consorciação. Ao lado do experimento consorciado foi conduzido um outro experimento, em blocos casualizados completos com quatro repetições, em cultivo solteiro, com as cvs. de alface que estavam sendo testadas no experimento consorciado. A finalidade deste experimento foi a obtenção de dados para determinação dos indicadores agroecônômicos.

No experimento consorciado, cada parcela foi constituída de quatro faixas alternadas (*strip-intercropping*), duas com cenoura e duas com alface, com quatro fileiras cada (Figura 1). A área total da parcela foi de 3,84 m^2 (3,2 x 1,2 m), com área útil de 1,6 m^2 (1,6 x 1,0 m), contendo 80 plantas de cenoura e 40 plantas de alface. Nas faixas, o

espaçamento da cenoura foi de 0,20 x 0,05 m e, o da alface, 0,2 x 0,1 m. As parcelas solteiras de cenoura foram constituídas por cinco fileiras, com área total de 1,2 m^2 (1,0 x 1,2 m) e área útil de 0,6 m^2 (0,6 x 1,0 m), contendo 30 plantas de cenoura no espaçamento de 0,2 x 0,1 m. No experimento de cultivo solteiro de alface, cada parcela foi constituída por cinco fileiras, com área total de 1,2 m^2 (1,0 x 1,2 m) e área útil de 0,48 m^2 (0,6 x 0,8 m), contendo doze plantas de alface no espaçamento de 0,2 x 0,2 m. A população recomendada para o cultivo solteiro da alface na região é de 250.000 plantas ha^{-1} (Silva, 1999) e, no cultivo da cenoura, 500.000 plantas ha^{-1} (Siqueira, 1995).

Foi feita solarização da área experimental durante 50 dias para desinfestação do solo em pré-plantio, como controle de fitopatógenos. Durante a condução do experimento foram efetuadas capinas manuais e irrigação pelo sistema de micro-aspersão. Na altura de 30 cm da parte aérea da cenoura, procedeu-se à colocação de um fitilho envolvendo as plantas, objetivando tornar mais ereto o seu crescimento, diminuindo assim o sombreamento das plantas de alface localizadas nas áreas adjacentes à cenoura (consórcio em faixas). Aplicou-se nos cultivos de cenoura e alface em consórcio e solteiro, 80 t ha^{-1} de esterco bovino, 40 kg ha^{-1} de nitrogênio na forma de uréia e 30 kg ha^{-1} de K_2O na forma de cloreto de potássio (IPA, 1998). Adubação nitrogenada em cobertura na cenoura foi realizada 37 dias após a semeadura, com 45 kg ha^{-1} de uréia. Na alface efetuaram-se adubações foliares de 30 ml 20 L⁻¹ de água da formulação 14% de N, 4% de P_2O_5 , 6% de K_2O , 0,8% de S, 1,5% de Mg, 2% de Zn, 1,5% de Mn, 0,1% de B e 0,05% de Mo, 28, 39 e 44 dias após semeadura.

No experimento consorciado, as cultivares de alface foram transplantadas nas faixas adjacentes da cenoura em dois cultivos: o primeiro sete dias após o plantio da cenoura (25/09/02) e, o segundo, 82 dias após o plantio da cenoura (08/12/02). Este consórcio da alface em duas épocas de desenvolvimento de um só cultivo da cenoura foi realizado com o objetivo de estabelecer uma me-

nor pressão de competição com a cultura principal (cenoura), de modo que sua produtividade fosse a máxima possível quando comparada ao cultivo solteiro. Isto permitiu uma melhor eficiência do sistema consorciado. Em cada cultivo, a alface foi semeada em copos descartáveis de 150 mL, contendo mistura de vermiculita e húmus como substrato, na proporção de 1:2. Foram semeadas de três a cinco sementes por recipiente, efetuando-se dois desbastes, oito e 15 dias após a semeadura, deixando-se uma plântula por recipiente. As mudas foram produzidas sob sombreamento, utilizando-se uma estufa coberta com tela de nylon de cor branca, e transplantadas 21 dias após a semeadura para as faixas adjacentes à cenoura. No experimento solteiro, as cultivares de alface foram semeadas e transplantadas nas mesmas datas das plantas utilizadas no experimento consorciado. A cenoura foi semeada em um só cultivo em 18/09/02. Foram realizados dois desbastes, 22 e 30 dias após semeadura, deixando-se apenas uma planta a cada 0,05 m.

As colheitas de alface no primeiro cultivo foram realizadas em 16 e 21/10/02, estando a cenoura com 28 dias de semeadura, e a alface entre 41 e 46 dias. A colheita da cenoura foi realizada em 17 e 18/12/02. As colheitas de alface no segundo cultivo foram realizadas nos dias 23 e 24/12/02, cerca de uma semana após a colheita da cenoura, estando a alface com 39 e 40 dias da semeadura, respectivamente.

A característica avaliada na alface foi massa fresca da parte aérea (MFPA) de todas as plantas da parcela útil e, na cenoura, rendimento de raízes comerciais de plantas da parcela útil, livres de defeitos (rachaduras, bifurcações, galhas de nematóides e danos mecânicos). O índice das produções combinadas das duas culturas foi determinado através da seguinte equação de transformação: $Y_c = Y_c + r Y_a$ (Ramalho *et al.*, 1983), onde Y_c é a produção equivalente de cenoura; Y_c e Y_a é a produção de raízes de cenoura e de MFPA (t ha^{-1}) de alface; r é a relação entre preços da alface e cenoura. Os preços das hortaliças correspondem à média dos preços recebidos pelos produtores da região oeste

do estado do Rio Grande do Norte, no período 2000-2005. Os preços médios da alface e da cenoura foram, respectivamente, R\$ 1,20 kg⁻¹ e R\$ 0,65 kg⁻¹. Assim, a relação de preço médio nesses seis anos foi de 1,85.

Para calcular a eficiência produtiva de cada tratamento, foi usado o modelo DEA com retornos constantes à escala (Charnes *et al.*, 1978), já que não há evidências de diferenças de escala significativas. Esse modelo tem a formulação geral matemática apresentada em (1), na qual x_{ik} : valor do *input* i ($i=1...s$), para o tratamento k ($k=1...n$); y_{jk} : valor do *output* j ($j=1...r$), para o tratamento k ; v_i e u_j : pesos atribuídos a *inputs* e *outputs*, respectivamente; O : tratamento em análise.

$$\begin{aligned} & \text{Max } \sum_{j=1}^r u_j y_{jO} \\ & \text{sujeito a} \\ & \sum_{i=1}^s v_i x_{iO} = 1 \\ & \sum_{j=1}^r u_j y_{jO} - \sum_{i=1}^s v_i x_{iO} \leq 0, \quad k=1...n \\ & v_i, u_j \geq 0, \quad i=1...s, \quad j=1...r \end{aligned} \quad (1)$$

As unidades de avaliação foram os tratamentos, em um total de 32. Como *outputs*, foram utilizadas as produtividades da alface no 1º e no 2º cultivos e a produtividade comercial da cenoura. Para avaliar o desempenho de cada parcela, considerou-se que cada uma utiliza-se de um único recurso com nível unitário, seguindo abordagem semelhante à usada por Soares de Mello & Gomes (2004), já que os *outputs* incorporam os possíveis *inputs*. Esse modelo é equivalente a um modelo multicritério aditivo, com a particularidade de que as próprias alternativas atribuem pesos a cada critério, ignorando qualquer opinião de um eventual decisor. Ou seja, DEA é usado como ferramenta multicritério e não como uma medida de eficiência clássica. É importante destacar que nesse caso de modelagem DEA com *input* único e unitário, conforme provado em Lovell & Pastor (1999), modelos DEA com retornos constantes à escala (DEA CCR) são equivalentes a modelos DEA com retornos variáveis à escala (DEA BCC).

O índice de uso eficiente da terra (UET) foi obtido pela expressão: $(I_{\text{cenoura}} /$

Tabela 1. Produtividade equivalente de cenoura, eficiência produtiva e índice de uso eficiente da terra em função de cultivares de cenoura em cultivo consorciado com diferentes cultivares de alface (Carrot equivalent yield, productive efficiency index and land equivalent ratio in function of carrot cultivars in intercropping systems with different lettuce cultivars). Mossoró, UFERSA, 2002.

Cultivares de cenoura	Produtividade equivalente de cenoura (t.ha ⁻¹)	Eficiência produtiva	Uso eficiente da terra
Alvorada	50,93 a *	0,72 a	1,16 a
Brasília	52,86 a	0,75 a	1,21 a
Cultivares de alface			
Lucy Brown	56,71 a	0,77 a	1,24 a
Tainá	53,10 a	0,74 a	1,20 a
Laurel	48,28 a	0,72 a	1,16 a
Verônica	49,48 a	0,71 a	1,16 a
CV (%)	13,86	14,30	13,76

* Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan, $p < 0,05$. (Means followed by the same letter in the column do not differ from each other, Duncan's test, $p < 0,05$.)

$S_{\text{cenoura}})$ + $(I_{\text{alface}}/S_{\text{alface}})$, onde I e S representam as produtividades dos sistemas consorciado e solteiro de cada cultura componente. Foi usado o máximo das médias dos genótipos solteiros sobre blocos, conforme recomendação de Oyejola & Mead (1982). O UET é definido como a área relativa de terra sob condições de plantio isolado que é requerida para proporcionar as produtividades alcançadas no consórcio.

Uma análise univariada de variância para o delineamento de blocos casualizados completos foi utilizada para avaliar a produção equivalente da cenoura, o índice de eficiência produtiva (DEA) e a variável canônica Z. O teste de Duncan foi aplicado para comparar as médias dos níveis dos tratamentos. Uma análise multivariada de variância foi utilizada nas características avaliadas na alface e na cenoura e os fatores tratamentos testados pelo critério de Wilks (Ferreira, 1996).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As hipóteses de homocedasticidade, normalidade e aditividade não puderam ser rejeitadas na análise univariada de variância das características produtividade equivalente de cenoura, eficiência produtiva, índice de uso eficiente da terra, escore normalizado da variável canônica Z, produtividades de alface no primeiro e segundo cultivos e produtividade de cenoura comercial. A não re-

jeição destas hipóteses é necessária para validar os testes de significância e intervalos de confiança (Lavorenti, 1998).

Não se observou significância dos fatores principais, bem como da interação entre eles, na produtividade equivalente de cenoura, na eficiência produtiva e no índice de uso eficiente da terra (Tabela 1). Assim, foi registrado um desempenho semelhante desses índices combinados entre cultivares, tanto de cenoura como de alface. Ou seja, através do método univariado não foi possível observar efeito significativo dos fatores principais ou de sua interação. Carvalho (1988) afirma que o uso de índices combinados para reduzir um problema essencialmente multivariado a um univariado sempre reduz a informação contida nos dados originais. O importante é que a análise escolhida examine o relacionamento entre duas ou mais variáveis componentes das duas culturas.

Dessa forma, a maneira mais indicada para analisar as respostas de duas ou mais culturas, sem qualquer perda de informação, é usar análise multivariada de variância. No caso, onde apenas duas culturas são trabalhadas, a análise de variância bivariada pode ser utilizada. Segundo Lavorenti & Mead (1996), o uso da análise bivariada aplicada às produções de duas culturas consorciadas permite não somente a realização das análises individuais, mas, particularmente, a inves-

Tabela 2. Índices combinados (produtividade equivalente de cenoura - PEQ, eficiência produtiva - EFP, uso eficiente da terra - UET) de sistemas consorciados provenientes da associação de duas cultivares de cenoura com quatro cultivares de alface e escore da variável canônica Z – ENZ. [Combined indexes (carrot equivalent yield – PEQ, productive efficiency index – EFP, land equivalent ratio – UET) of intercropping systems stemmed from the association of two carrot cultivars with four lettuce cultivars and score of canonic variable Z – ENZ)]. Mossoró, UFERSA, 2002.

Sistemas consorciados	PEQ	EFP	UET	ENZ
Alvorada + Lucy Brown	58,45 a *	0,79 a	1,26 a	10,85 a
Brasília + Lucy Brown	54,97 a	0,74 a	1,21 a	9,84 a
Alvorada + Tainá	52,72 a	0,74 a	1,18 a	9,22 ab
Brasília + Tainá	53,48 a	0,75 a	1,22 a	8,76 ab
Alvorada + Laurel	48,13 a	0,70 a	1,16 a	5,29 b
Brasília + Laurel	48,44 a	0,73 a	1,15 a	5,33 b
Alvorada + Verônica	44,42 a	0,65 a	1,05 a	5,31 b
Brasília + Verônica	54,53 a	0,77 a	1,27 a	7,31 ab

* Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade. (Means followed by the same letter in the column do not differ from each other, Duncan's test, $p < 0.05$.)

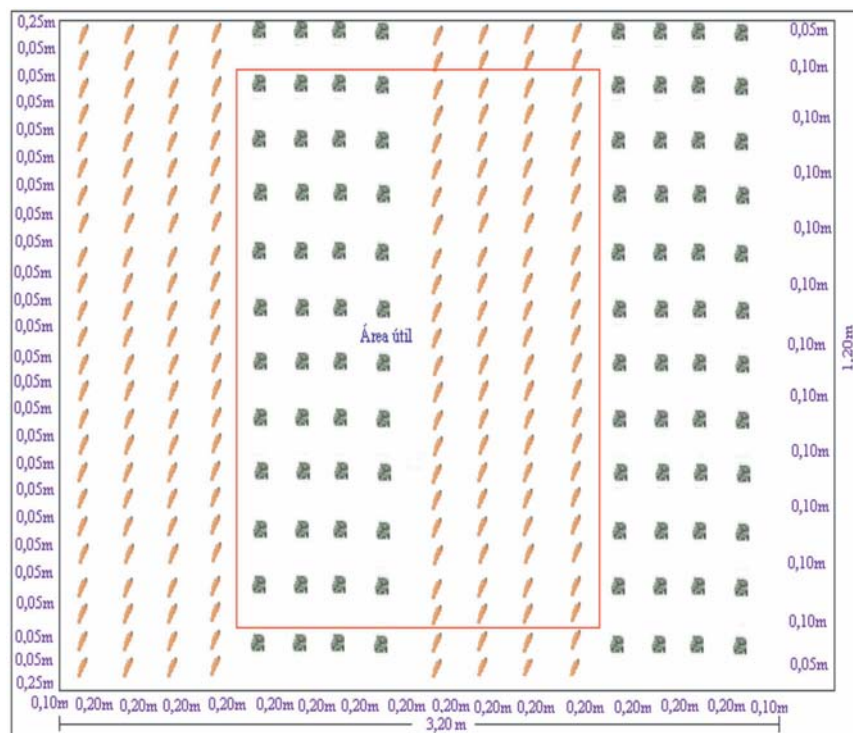


Figura 1. Representação gráfica da parcela experimental do consórcio cenoura e alface em faixas. (Graphic representation of an experimental plot of carrot and lettuce in strip-intercropping). Mossoró, UFERSA, 2002.

tigação da covariância existente entre essas produções.

Para a análise multivariada, além das três pressuposições requeridas na análise univariada, é necessária outra pressuposição adicional: o coeficiente de correlação entre os rendimentos das duas culturas deve ser o mesmo em todos os tratamentos. A pressuposição da

normalidade multivariada foi realizada pelo método gráfico dos percentis do Qui-quadrado contra as distâncias de Mahalanobis ao quadrado (Sharma, 1996). Obteve-se praticamente uma linha reta, partindo da origem. O coeficiente de correlação obtido foi de 0,98, significativo a 5% de probabilidade. Assim, não é irracional assumir que os

resíduos das produtividades de cenoura e alface realmente vêm de uma distribuição normal multivariada.

A pressuposição de igualdade das matrizes de covariância foi realizada pela Estatística M de Box. O valor de M foi de 78,06, baseado em 42 graus de liberdade, que é não significativo ($P = 0,435$). Isso indica que as matrizes de covariância das produtividades de cenoura e alface são similares entre os tratamentos. Esse tipo de teste é sensível à não-normalidade. Assim, ele também atesta a hipótese de que a normalidade dos dados é razoavelmente satisfatória. A hipótese de que as produtividades das culturas sejam independentes foi testada pelo teste da esfericidade de Bartlett (Norusis, 1992), cujo resultado foi $\chi^2 = 28,449$; $P = 0,000$. Observa-se que é rejeitada a hipótese de que as variáveis dependentes sejam independentes. Portanto, as pressuposições para a análise multivariada foram razoavelmente satisfeitas.

Não se observou efeito significativo de interação ou de cultivares de cenoura nos vetores produtividades de cenoura e de alface pelo critério de Wilks. No entanto, efeito significativo de cultivares de alface foi observado nos vetores produtividades das duas hortaliças, resultado esse diferente dos obtidos pelo método univariado, utilizando-se os índices combinados de produtividade equivalente de cenoura, eficiência produtiva e índice de uso eficiente da terra. Ferreira & Duarte (1992) destacaram como desvantagem desse método de análise o fato de conduzir o pesquisador, muitas vezes, a conclusões divergentes em cada uma dessas análises feitas individualmente. Assim, a solução para eliminar esta deficiência seria utilizar técnicas de análise estatística multivariada.

Examinando-se os autovalores e os vetores associados ao efeito significativo de cultivares de alface, observa-se que 85,25% da variância total foi explicada pela combinação linear de X_1 , X_2 e X_3 , dado o primeiro autovalor. Esse resultado não está tão distante dos obtidos por Wijesinha *et al.* (1982) em consórcio de milho e feijão. Por outro lado, 14,63% da variância total foi obtida no segundo autovalor e os 0,12% restantes

obtidos no terceiro autovalor. A primeira combinação linear foi dominada por X_1 , produtividade da alface no primeiro cultivo, enquanto a segunda foi dominada por X_2 , produtividade da alface no segundo cultivo, enquanto a terceira combinação linear, em menor extensão, foi dominada por X_3 , produtividade de cenoura. Em termos de importância relativa, na primeira combinação linear a variável X_1 foi cerca de vinte e cinco vezes mais eficaz que a variável X_2 e cinco vezes mais eficaz que a variável X_3 na discriminação das diferenças entre cultivares de alface. Na segunda combinação linear, a variável X_2 foi cerca de duas vezes mais eficaz que a variável X_1 e, na terceira combinação, a variável X_3 foi cerca de três vezes mais eficaz que a variável X_1 na discriminação das diferenças entre cultivares de alface.

Para comparações múltiplas foi utilizada a técnica das variáveis canônicas ou função discriminante (Pimentel-Gomes, 2000). Os autovalores obtidos da matriz HE^{-1} (H matriz de tratamentos e E do resíduo) foram $\lambda_1 = 1,057$, $\lambda_2 = 0,296$ e $\lambda_3 = 0,142$. Verificou-se que o primeiro autovalor explicou 70,7% da variação total dos dados. Tal resultado está de acordo com Federer (1993), onde a primeira variável canônica possui a maior variância, sendo definida como aquela de maior importância, uma vez que retém a maior parte da variação total dos dados. A função discriminante ou variável canônica obtida foi $Z = 0,980 X_1 + 0,190 X_2 - 0,054 X_3$.

Após isso, escores foram obtidos em cada parcela e, posteriormente, submetidos à análise univariada de variância. Pode-se observar do resultado desta análise que a alface 'Lucy Brown' destacou-se das demais cultivares em termos de desempenho produtivo conjunto, embora este não tenha diferido significativamente do da 'Tainá'. O pior desempenho foi registrado pela 'Laurel'. Por outro lado, as cvs. de cenoura comportaram-se semelhantemente em termos de produtividade conjunta, confirmando resultado da análise multivariada de variância.

Na avaliação de todos os sistemas consorciados (Tabela 2) com os respectivos índices combinados (PEQ, EFP e

UET, provenientes do método univariado, e ENZ, proveniente do método multivariado), observou-se diferença significativa entre os valores desses índices apenas quando eles foram avaliados através do escore normalizado da variável canônica ENZ, com maior eficiência dos sistemas quando as cenouras estavam consorciadas com a cultivar de alface Lucy Brown. Os sistemas consorciados de cenoura Alvorada + Lucy Brown ou de cenoura Brasília + Lucy Brown são aqueles a serem indicados ao produtor.

A utilização do método multivariado mostrou-se ser bastante informativa e vantajosa em razão da maior capacidade discriminante, além da descrição da superioridade relativa dos tratamentos por meio da técnica das variáveis canônicas. Por outro lado, esses índices combinados de medida de eficiência tiveram comportamento similar na discriminação dos melhores sistemas de cultivo consorciados quando avaliados pelo método univariado. Esses resultados indicam a importância de não se considerar somente um aspecto na avaliação de consórcios.

REFERÊNCIAS

- CARMO FILHO F; ESPÍNOLA SOBRINHO J; MAIA NETO JM. 1991. *Dados climatológicos de Mossoró: um município do semi-árido nordestino*. Mossoró: ESAM. 121p. (Coleção Mossoroense, C, 30).
- CARVALHO JRP. 1988. *Bivariate analysis in intercropping with two levels of error variation*. Reading: The University of Reading. 245p (Doctorate Thesis).
- CHARNES A; COOPER WW; RHODES E. 1978. Measuring the efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research* 2:429-444.
- CRUZ CD; MAGALHÃES PC; PEREIRA FILHO IA. 1991. Análise bivariada do rendimento de milho e feijão em sistema consorciado. *Revista Ceres* 38: 332-339.
- DEAR KBG; MEAD R. 1983. The use of bivariate analysis techniques for the presentation, analysis and interpretation of data. *Statistics in Intercropping - Technical Report* 1:1-38.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1999. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília: EMBRAPA. 412p.
- FEDERER WT. 1993. *Statistical design and analysis for intercropping experiments*. New York: Springer-Verlag. 298 p.
- FEDERER WT; MURTY BR. 1987. Uses, limitations, and requirements of multivariate analyses for intercropping experiments. In: MACNEILL IB.; UMPHREY GJ. (eds). *Biostatistics*. Massachusetts: D. Reidel Publishing Company. p.269-283.
- FERREIRA DF. 1996. *Análise multivariada*. Lavras: UFLA. 394p.
- FERREIRA DF; DUARTE GS. 1992. Eficiência da análise de variância multivariada comparada à análise de variância univariada em experimentos de soja. *Ciência e Prática* 16: 229-232.
- GERALDI IO. 1983. *Método de análise estatística para combinação de cultivares em consórcio*. Piracicaba: USPESALQ. 120p (Tese doutorado).
- GOMES AC. 1983. *Métodos de análise e interpretação de ensaios com culturas consorciadas*. 1983. Piracicaba: USP ESALQ. 120p (Tese mestrado).
- GOMES EG; SOUZA GS. 2005. Avaliação de ensaios experimentais com o uso da análise de envoltória de dados: uma aplicação a consórcios. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA (RBRAS) E SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA À EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA (SEAGRO), 50. - 11. *Anais...* Londrina: RBRAS (CD-ROM).
- IPA - Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária. 1998. *Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2ª aproximação*. 2. ed. Ver. Recife: IPA. 198p
- KASS DL. 1978. *Polyculture cropping systems: review and analysis*. Ithaca: New York State College of Agriculture and Life Sciences. 69p.
- KISYOMBE FW. 1990. Statistical analysis of on-farm intercropping trials - The Malawi experience. In: WADDINGTON SR; PALMER AFE; EDJE OT (eds). *Research methods for cereal/legume intercropping*. Malawi: CIMMYT. p. 139-142.
- LAVORENTI NA. 1998. *Fitting models in a bivariate analysis of intercropping*. Reading: The University of Reading. 305p (Doctorate Thesis).
- LAVORENTI NA; MEAD R. 1996. O uso da análise bivariada em consorciação de culturas envolvendo a cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 6. *Anais...* Maceió: STAB. p. 619-626.
- LOVELL CAK; PASTOR JT. 1999. Radial DEA models without inputs or without outputs. *European Journal of Operational Research* 118: 46-51.
- MEAD R; RILEY J. 1981. A review of statistical ideas relevant to intercropping research. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A* 144: 462-509.
- NORUSIS MJ. 1992. *SPSS/PC+ Advanced statistics*. Chicago: SPSS Inc. 481p.
- OYEJOLA BA; MEAD R. 1982. Statistical assessment of different ways of calculating land equivalent ratios (LER). *Experimental Agriculture* 18:125-138.

- PEARCE SC; GILLIVER B. 1978. The statistical analysis of data from intercropping experiments. *Journal of Agricultural Science* 91: 625-632.
- PEARCE SC; GILLIVER B. 1979. Graphical assessment of intercropping methods. *Journal of Agricultural Science* 93: 51-58.
- PIMENTEL-GOMES F. 2000. *Curso de estatística experimental*. Piracicaba: Degaspari. 477p.
- RAMALHO MAP; OLIVEIRA AC; GARCIA JC. 1983. *Recomendações para o planejamento e análise de experimentos com as culturas de milho e feijão consorciadas*. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS. 74p. (Documentos, 2).
- SHARMA S. 1996. *Applied multivariate techniques*. New York: Wiley & Sons Inc. 493p.
- SILVA VF. 1999. *Cultivares de alface em diferentes espaçamentos sob temperatura e luminosidade elevadas na região de Mossoró-RN*. Mossoró: ESAM. 25p. (Tese mestrado).
- SIQUEIRA GAS. 1995. *Espaçamentos de plantio na produção de cenoura "Brasília", no município de Mossoró-RN*. Mossoró: ESAM. 23p. (Monografia graduação).
- SOARES DE MELLO JCCB; GOMES EG. 2004. Eficiências aeroportuárias: uma abordagem comparativa com análise de envoltória de dados. *Revista de Economia e Administração* 3: 15-23.
- WIJESINHA A; FEDERER WT; CARVALHO JRP; PORTES TA. 1982. Some statistical analysis for a maize and beans intercropping experiment. *Crop Science* 22: 660-668.
-