

USO DO MÉTODO DE EBERHART E RUSSELL COMO INFORMAÇÃO A PRIORI PARA APLICAÇÃO DE REDES NEURAS ARTIFICIAIS E ANÁLISE DISCRIMINANTE VISANDO A CLASSIFICAÇÃO DE GENÓTIPOS DE ALFAFA QUANTO À ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE FENOTÍPICA

Laís Mayara Azevedo BARROSO¹
Moisés NASCIMENTO¹
Ana Carolina Campana NASCIMENTO¹
Fabyano Fonseca e SILVA¹
Reinaldo de Paula FERREIRA¹

- RESUMO: O objetivo deste trabalho foi comparar os resultados obtidos pela metodologia de Eberhart e Russell (1966) com a Análise Discriminante e o treinamento de uma rede neural artificial para análise da adaptabilidade e estabilidade fenotípica de genótipos de alfafa (*Medicago sativa*). Foram utilizados dados provenientes de um experimento sobre produção de matéria seca de 92 genótipos de alfafa realizado no delineamento em blocos casualizados, com duas repetições. Os genótipos foram submetidos a 20 cortes, no período de novembro de 2004 a junho de 2006. Cada corte foi considerado um ambiente. Diante dos resultados apresentados, verifica-se que a rede neural artificial apresentou índices de concordância mais elevados do que a Análise Discriminante com relação aos resultados obtidos pela metodologia de Eberhart e Russell (1966).
- PALAVRAS-CHAVE: Melhoramento de plantas; interação genótipos x ambientes; simulação.

1 Introdução

No melhoramento genético de plantas, quando o objetivo é selecionar ou recomendar genótipos para o plantio, o estudo da interação entre genótipo x ambiente é de extrema importância. Entretanto, o estudo desta interação não fornece informações pormenorizadas sobre a resposta de cada cultivar diante das variações ambientais, tornando-se necessárias as análises de adaptabilidade e estabilidade (Cruz et al., 2012).

A literatura apresenta inúmeros métodos baseados em modelos de regressão, os quais medem a resposta de cada genótipo frente às variações ambientais (Eberhart e Russell, 1966; Cruz et al., 1989). Métodos não paramétricos, como o Rocha et al. (2005) e

¹ Universidade Federal de Viçosa - UFV, Departamento de Estatística, CEP: 36570-000, Viçosa, MG, Brasil, E-mail: lais.barroso@yahoo.com.br, moysesnascim@ufv.br, ana.campana@ufv.br, fabyano.fonseca@ufv.br; reinaldo@cpps.e.embrapa.br.

seus desenvolvimentos posteriores (Nascimento et al. 2009a, 2010b) podem também ser empregados.

Recentemente, Nascimento et al. (2013) propuseram uma metodologia para a classificação dos genótipos por meio de redes neurais artificiais (RNA). Nesta metodologia a classificação baseia-se no aprendizado da rede com base em classes de recomendações pré-definidas de acordo com a metodologia de Eberhart e Russell (1966). Segundo Nascimento et al. (2013) a utilização da metodologia de Eberhart e Russell (1966) se deve a sua ampla utilização no melhoramento de plantas devido à sua fácil aplicação e interpretação. A utilização desta metodologia pode ser verificada nos estudos de Ferreira et al. (2004) e Ledo et al. (2005), os quais classificaram cultivares de alfafa quanto adaptabilidade e estabilidade e no estudo de Nascimento et al. (2010) em que foram avaliados cultivares de café. Uma crítica à metodologia de Eberhart e Russell (1966) se deve a impossibilidade de seu uso quando os genótipos são avaliados em poucos ambientes.

Foi realizada a simulação de genótipos com o intuito de obter conjuntos para o treinamento e validação da rede. Para tanto, são simulados genótipos de acordo com as classes definidas por Eberhart e Russell (1966) e usam-se os mesmos no treinamento da rede. Além disso, a utilização das redes neurais não requer conhecimento prévio a respeito do comportamento a ser modelado por meio de uma equação e nenhuma pressuposição em relação a variáveis e grupos em estudo.

Outra técnica amplamente utilizada no melhoramento de plantas é a Análise Discriminante (Nogueira et al., 2008; Sudré et al., 2006). Tal metodologia, que também pode ser utilizada para a classificação de genótipos, tanto por meio de dados simulados quanto de dados amostrais, baseia-se na estimação de funções que particionam o espaço de todos os possíveis resultados em regiões de classificação. Embora interessante, a aplicação desta técnica pressupõe que a estrutura de covariâncias entre as populações seja homogênea. Assim, uma vantagem da utilização de RNA em relação à Análise Discriminante é que não é feita nenhuma pressuposição a respeito da distribuição dos dados e de sua estrutura de covariâncias.

Entretanto, as RNA's também possuem desvantagens. Uma delas é o tempo gasto no treinamento das redes, que dependendo da aplicação de interesse do pesquisador, pode ser demorado. Outra desvantagem é a impossibilidade de se saber, a influência que cada variável tem sobre a resposta fornecida pela rede. Na Análise Discriminante, basta que se analise os coeficientes da função linear resultante para obter tal resposta.

Diante do exposto o presente trabalho tem como objetivo comparar os resultados obtidos pela a metodologia de Eberhart e Russell (1966) com a Análise Discriminante e o treinamento de uma rede neural artificial para análise da adaptabilidade e estabilidade fenotípica de genótipos de alfafa (*Medicago sativa*).

2 Material e métodos

Para comparação das metodologias, foram utilizados dados do programa de melhoramento de alfafa, conduzido pela Embrapa Pecuária Sudeste, para o desenvolvimento de genótipos adaptados aos diferentes ecossistemas brasileiros. Os dados são provenientes de um experimento cujo delineamento foi o de blocos ao acaso com duas repetições, com os tratamentos dispostos no esquema de parcelas subdivididas, em que se

avaliou as produções de matéria seca de 92 genótipos de alfafa submetidos a 20 cortes, entre novembro de 2004 a junho de 2006. Tais cortes foram caracterizados como diferentes condições ambientais, uma vez que foram realizados em diferentes épocas.

Os resultados quanto a adaptabilidade e estabilidade fenotípica foram obtidos por meio das metodologias de Eberhart e Russell (1966), Análise Discriminante e as redes neurais artificiais como no trabalho de Nascimento et al.(2013).

2.1 Método de Eberhart e Russell (1966)

O método proposto por Eberhart e Russell (1966), baseia-se na análise de regressão linear simples, que mede a resposta de cada genótipo frente às variações ambientais. Dessa forma, para um experimento com g genótipos, a ambientes e r repetições define-se o seguinte modelo estatístico:

Equação

$$\mathbf{y} = \mathbf{I}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\psi} \quad (1)$$

em que $\mathbf{y} = (y_1, y_2, \dots, y_a)^T$ é um vetor a -dimensional representando a variável resposta; $\mathbf{I} = (I_1, I_2, \dots, I_a)^T$ é a matriz do modelo de dimensão $a \times 2$, sendo de posto completo, em

que cada I_j é definido como $I_j = \frac{\sum_i Y_{ij}}{g} - \frac{\sum_i \sum_j Y_{ij}}{ga}$, com $j = 1, \dots, a$; $i = 1, \dots, g$; $\boldsymbol{\beta} = (\beta_0, \beta_1)^T$ é um vetor bidimensional de parâmetros desconhecidos e $\boldsymbol{\psi}$ é o vetor de erros de dimensão $a \times 1$, em que cada componente pode ser decomposto como: $\Psi_{ij} = \delta_{ij} + \bar{\epsilon}_{ij}$, sendo δ_{ij} o desvio da regressão e $\bar{\epsilon}_{ij}$ erro experimental médio, em que $E(\Psi_{ij}) = 0$ e $Cov(\Psi_{ij}) = \sigma^2 \mathbf{I}_a$, em que \mathbf{I}_a é uma matriz identidade de dimensão a . Neste estudo, considerou-se $\Psi_{ij} \sim N(0, \sigma^2 \mathbf{I}_a)$.

Os estimadores dos parâmetros de adaptabilidade e de estabilidade são dados

respectivamente por $\hat{\beta}_{ii} = \frac{\sum_j Y_{ij} I_j}{\sum_j I_j^2}$ e $\hat{\sigma}_{d_i}^2 = \frac{QMD_i - QMR}{r}$, em que QMD_i é o quadrado

médio dos desvios do genótipo i ; QMR é o quadrado médio do resíduo; e r é o número de repetições.

Na metodologia de Eberhart e Russell (1966), o conceito de adaptabilidade refere-se à capacidade de os genótipos responderem ao estímulo do ambiente e são classificados como: genótipos com adaptabilidade ampla ou geral, $\beta_{ii} = 1$; genótipos com adaptabilidade específica a ambientes favoráveis, $\beta_{ii} > 1$; genótipos com adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis, $\beta_{ii} < 1$. O conceito de estabilidade refere-se à capacidade de os genótipos mostrarem uma resposta previsível em função do estímulo do ambiente.

A avaliação da hipótese $H_{0i} : \beta_{1i} = 1$ é realizada por meio do teste t, cuja estatística é dada por $t = \frac{\hat{\beta}_{1i} - 1}{\sqrt{\hat{V}(\hat{\beta}_{1i})}}$ e da hipótese $H_0 : \sigma_{di}^2 = 0$ é realizada por meio do teste F.

Após a avaliação das hipóteses de interesse é possível classificar os genótipos em uma de seis classes apresentadas na Tabela 1.

Table 1 - Classes de genótipos por meio da metodologia de Eberhart e Russell (1966) e os respectivos valores paramétricos

Classes	Classificação prática	Valores paramétricos
1	Adaptabilidade geral e previsibilidade baixa	$\beta_{1i} = 1$ e $\sigma_{di}^2 > 0$
2	Adaptabilidade específica a ambientes favoráveis e previsibilidade baixa	$\beta_{1i} > 1$ e $\sigma_{di}^2 > 0$
3	Adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis e previsibilidade baixa	$\beta_{1i} < 1$ e $\sigma_{di}^2 > 0$
4	Adaptabilidade geral e previsibilidade alta	$\beta_{1i} = 1$ e $\sigma_{di}^2 = 0$
5	Adaptabilidade específica a ambientes favoráveis e previsibilidade alta	$\beta_{1i} > 1$ e $\sigma_{di}^2 = 0$
6	Adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis e previsibilidade alta	$\beta_{1i} < 1$ e $\sigma_{di}^2 = 0$

2.2 Redes Neurais Artificiais (RNA)

A rede utilizada neste estudo, denotada por *back-propagation single hidden layer* pode ser descrita como a seguir.

Considere que as variáveis Z_m são funções de somas ponderadas das variáveis de entrada X_i , ou seja, $Z_m = \gamma(\alpha_{0m} + \alpha_m^T X)$, $m = 1, 2, \dots, M$, e as saídas, Y_k , são modeladas como funções destas combinações. Seja $T_k = \beta_{0k} + \beta_k^T Z$, $k = 1, 2, \dots, K$, $Y_k = f_k(X) = g_k(T)$, $k = 1, 2, \dots, K$, em que $Z = (Z_1, Z_2, \dots, Z_M)$, e $T = (T_1, T_2, \dots, T_k)$. A função de ativação, sigmóide, $\gamma(v)$ é dada por: $\gamma(v) = \frac{1}{1 + e^{-v}}$.

A função de saída $g_k(T)$ permite uma transformação final do vetor de saídas T. Em estudos de regressão, a função $g_k(T)$ é definida como a identidade, ou seja, $g_k(T) = T$. No entanto, quando a rede é utilizada para classificação, objetivo do presente estudo, em um dos k grupos utiliza-se a função *softmax*, $g_k(T) = \frac{e^{T_k}}{\sum_{l=1}^K e^{T_l}}$, que produz estimativas positivas cuja soma é igual a um (Hastie et al., 2009).

A estimação do conjunto de todos os parâmetros da rede (θ), conhecidos como pesos, $\{\alpha_{0m}, \alpha_m; m=1,2,\dots,M\}$ e $\{\beta_{0k}, \beta_k; k=1,2,\dots,K\}$, é realizada por meio da minimização da soma de quadrado dos erros, $R(\theta) = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^N [y_{ik} - f_k(x_i)]^2$, e o classificador correspondente é dado por: $G(\theta) = \operatorname{argmax}_k f_k(x)$. A minimização da função é realizada pela aplicação do algoritmo do gradiente descendente, conhecido como *back-propagation* (Hastie et al., 2009).

2.3 Análise discriminante

Para a estimação das funções discriminantes utilizadas na classificação dos genótipos, considere π_i , as populações e, μ_i e Σ_i , o vetor de médias e a matriz de covariâncias destas populações, respectivamente, com $i = \{1,2,\dots,6\}$, uma vez que foram utilizadas seis classes no método de Eberhart e Russell (1966). Considere ainda, que existe homogeneidade entre as matrizes de covariâncias, ou seja, $\Sigma_1 = \Sigma_2 = \dots = \Sigma_6 = \Sigma_p$. Desta forma, é necessário obter a matriz de covariâncias comum, Σ_p , por meio da seguinte

expressão: $\Sigma_p = \frac{\sum_{i=1}^6 (n_i - 1) \Sigma_i}{\sum_{i=1}^6 (n_i - 1)}$. As funções discriminantes apresentadas em Ferreira (2008)

e aqui utilizadas são dadas por: $D_i(x) = \ln(p_i) + (x - \frac{1}{2} \mu_i) \Sigma_p^{-1} \mu_i$, com $i = 1,2,3,4,5,6$, em que os valores de p_i são as probabilidades a priori dos genótipos pertencer a populações π_i , $i = \{1,2,\dots,6\}$. Neste estudo, $p_i = 1/6$. De posse dessas funções, devemos classificar i -ésimo genótipo na população π_k , $k = \{1,2,3,4,5,6\}$, se $D_i(X_i) = \max_k D_k(X_i)$.

2.4 Simulação e classificação

Tanto para o treinamento da rede quanto para a estimação das funções discriminantes, foram simulados 1500 genótipos, de acordo com o modelo 1. Deve ser ressaltado que a simulação destes conjuntos é realizada levando em conta os valores do índice ambiental do conjunto de dados avaliados, ou seja, foram considerados 20 ambientes na simulação. Os valores paramétricos utilizados para obtenção dos genótipos das classes 1, 2 e 3 (Tabela 1), cada uma composta de 500 genótipos, foram: Classe 1: $\beta_{0i} = \bar{X}_G$, $\beta_{1i} \sim U[0,90; 1,10]$ e $\sigma_{\Psi}^2 = 250$, isto é β_{1i} será considerado igual a 1 se $\beta_{1i} \in [0,90; 1,10]$; Classe 2: $\beta_{0i} = \bar{X}_G$, $\beta_{1i} \sim U[1,11; 2,00]$ e $\sigma_{\Psi}^2 = 250$, isto é, β_{1i} será considerado maior a 1 se $\beta_{1i} \in [1,11; 2,00]$; Classe 3: $\beta_{0i} = \bar{X}_G$, $\beta_{1i} \sim U[0,00; 0,89]$ e $\sigma_{\Psi}^2 = 250$, isto é, β_{1i} será considerado menor a 1 se $\beta_{1i} \in [0,00; 0,89]$. Além disso, $U[a;b]$ representa a distribuição de probabilidade Uniforme contínua com parâmetros a e

b. Para obtenção das três classes restantes (4, 5 e 6), visando linearizar o conjunto dos valores, os valores simulados foram transformados para a escala logarítmica, ou seja, para as classes 4, 5 e 6 tem-se que $\sigma_y^2 = 0$. Assim, da mesma forma que no trabalho de Finlay e Wilkinson (1963) o conceito de estabilidade está ligado à capacidade dos genótipos apresentarem uma resposta previsível em função ao estímulo do ambiente.

De posse dos 3000 genótipos, representantes das seis classes, o conjunto de dados foi particionado em dois: o conjunto de treinamento e o conjunto de teste da rede. O conjunto de treinamento da rede, composto de 2400 genótipos, foi obtido pela seleção ao acaso de 400 genótipos dentro de cada classe. O conjunto de teste, composto dos 600 genótipos restantes, sendo 100 de cada classe, foi utilizado para o teste da rede.

Após a etapa de treinamento e teste da rede e a estimação da função discriminante o conjunto de dados de genótipos de alfafa foi apresentado à rede para classificação. A classificação quanto à adaptabilidade foi realizada tomando como base a classificação em uma das três primeiras classes (Tabela 1). Já com respeito à estabilidade, levando em conta o conceito de Finlay e Wilkinson (1963), o genótipo é classificado como de estabilidade alta se, após sua linearização a classificação quanto à adaptabilidade não se altera e, como de estabilidade baixa se a mesma for alterada. Para fins de comparação, a avaliação da adaptabilidade e estabilidade dos genótipos foi também realizada pela metodologia proposta por Eberhart e Russell (1966).

2.5 Aspectos computacionais e comparação entre as metodologias

Neste trabalho foi utilizada a rede *back-propagation single hidden layer*. Especificamente, a rede neural artificial proposta possui 1 camada de entrada, 1 intermediária e 1 camada de saída. A primeira camada possui 20 entradas, as quais se referem aos valores de produtividade dos genótipos avaliados em 20 ambientes. Na camada intermediária o número de neurônios variou de 1 a 10 neurônios. Já a camada de saída foi composta por 1 neurônio e a saída é dada pela classificação do genótipo em uma das 6 classes definidas na Tabela 1. A melhor arquitetura da rede foi estabelecida por aquela que apresentou um erro de classificação inferior à 2%.

A comparação entre os métodos de Análise Discriminante com Eberhart e Russell (1966) e o treinamento das RNA's, foi realizada por meio do cálculo do percentual de concordância entre os resultados dispostos na matriz de confusão.

Os argumentos necessários para a função da rede, tais como número de camadas ocultas, valores iniciais para os pesos, taxa de decaimento e máximo de iterações foram escolhidos considerando a rede que forneceu um valor de erro de no máximo 2% para o conjunto de teste.

Para avaliar a adaptabilidade e a estabilidade dos 92 genótipos de alfafa em estudo, utilizando a Análise Discriminante, utilizou-se a função *lda* do pacote MASS (Venables e Ripley, 2002) implementada no programa R (R Development Core Team, 2010). Além disso, utilizou-se a função *nnet* do pacote nnet (Venables e Ripley, 2002) também implementada no R (R Development Core Team, 2010) para avaliação da adaptabilidade por meio da rede neural. Para obter os resultados encontrados pela metodologia de Eberhart e Russell (1966) foi utilizado o software Genes (Cruz, 2013).

3 Resultados e discussão

Pela Tabela 2 observa-se que houve diferenças significativas entre genótipos, o que indica a existência de variabilidade genética entre os genótipos para a produção de matéria seca. Como se constatou a existência de interação genótipos x cortes ($P \leq 0,01$), tem-se a necessidade de estudo pormenorizado da resposta das cultivares frente a essas variações, por meio da análise de adaptabilidade e estabilidade, uma vez que os genótipos apresentam desempenho diferenciado frente às diferentes condições ambientais.

Table 2 - Análise de variância conjunta, média geral (kg ha^{-1}) de 92 genótipos de alfafa, para produção de matéria seca em 20 cortes em experimento conduzido de novembro de 2004 a junho de 2006

Fontes de variação	GL	Quadrados médios
Blocos	1	2 002 415.43
Cultivar (Cv)	91	1 384 475.75*
Erro a	91	5 74 269.72
Corte (Co)	91	62 331 022.56*
Erro b	91	946 917.67
Interação (Ge x Co)	1 729	60 682.46**
Erro c	1 729	55 851.26
Média (kg ha^{-1})	1 176	

** e * significativos a 5 e 1 % de probabilidade, respectivamente pelo teste F.

Considerando a classificação por meio da Análise Discriminante, dos 92 genótipos, 66 foram classificados como de adaptabilidade geral, 4 como de adaptabilidade específica a ambientes favoráveis e 22 foram classificados como sendo de adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis (Tabela em Anexo - Tabela A1). Os 4 genótipos (Activa, Prointa Lujan, Kern, Key II) classificados como favoráveis pela Análise Discriminante também foram classificados como favoráveis pelas outras duas metodologias estudadas. Esse mesma classificação foi obtida pela rede utilizada no estudo de Nascimento et al. (2013) o que corrobora com os resultados encontrados.

Considerando como padrão os resultados obtidos pela metodologia de Eberhart e Russel (1966), dos 92 genótipos estudados, 34 mudaram a classificação quanto à adaptabilidade. Um exemplo desta mudança ocorre com os genótipos Trindade 87, LE N 3, Candombe, 5 929, 13 R Supreme, DK 194, DK 187 R que foram classificados como de adaptabilidade geral pelo método de Eberhart e Russell (1966) e como de adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis pela rede e pela Análise Discriminante. Outra mudança ocorreu com os genótipos Aurora, Sundor, Prointa Patricia, Platino, 5683 L, Aca 901 que, pelo método de Eberhart e Russell e pela rede, foram classificados como adaptabilidade específica a ambientes favoráveis e pela Análise Discriminante foram classificados como de adaptabilidade geral.

Os percentuais de concordância foram, respectivamente para adaptabilidade e estabilidade, de 72,83 e 28,26% em relação aos resultados obtidos pela metodologia de

Eberhart e Russell (1966) comparados com a Análise Discriminante e 81,52 e 83,69% comparando-se Eberhart e Russell (1966) e Redes Neurais. Ventura et al. (2012) calcularam o percentual de coincidência de classificação, baseada em valores genéticos, para peso aos 205 dias em bovinos da raça Tabapuã, oriundos das redes neurais e os valores preditos pelo BLUP. Considerando os cem primeiros animais, o percentual foi de 66% e para as classificações posteriores o valor de coincidência foi ainda menor (26%). Já no estudo de Nascimento et. al. (2013) em que foram utilizadas redes neurais para classificar genótipos de alfafa por meio da metodologia de Eberhart e Russell (1966) o percentual médio foi de 83%

O baixo valor da estabilidade no caso de Análise Discriminante e Eberhart e Russell (1966), 28,26%, já era esperado uma vez que para cada metodologia utilizou-se um conceito diferente. Este resultado também é tratado por Nascimento et. al. (2013), uma vez que para a metodologia de Eberhart e Russell (1966) é utilizado o conceito de estabilidade como invariância e não previsibilidade.

Os altos valores de percentuais da rede com Eberhart e Russell (1966) mostram que a rede foi treinada de acordo com os conceitos de adaptabilidade e estabilidade propostos por Eberhart e Russell (1966). A utilização da Análise Discriminante também é uma alternativa, para classificação da adaptabilidade. Entretanto, se comparado com a rede esta obteve um percentual menor de concordância, visto que o percentual de concordância médio foi de 82,61, enquanto que considerando Análise Discriminante esse percentual foi de 50,54. Assim, verifica-se que a rede possui um melhor desempenho quando objetiva-se avaliar genótipos de acordo com o método de Eberhart e Russell (1966).

Conclusões

Diante dos resultados apresentados, verifica-se que a rede neural artificial apresentou índices de concordância mais elevados do que a Análise Discriminante com a relação aos resultados obtidos pela metodologia de Eberhart e Russell (1966).

Ademais, deve-se ficar claro que tanto a metodologia baseada em redes neurais quanto em análise discriminante pode ser generalizada para qualquer outro método de adaptabilidade e estabilidade. Assim, o viés proveniente da metodologia base pode estar de algum modo inserida na rede neural e análise discriminante.

BARROSO, L. M. A.; NASCIMENTO, M.; NASCIMENTO, A. C. C.; SILVA, F. F.; FERREIRA, R. P. The use of Eberhart and Russell method as a priori information for application of artificial neural networks and analysis discriminant for evaluate the phenotypic adaptability and stability of alfafa (*medicago sativa*) genotypes. *Rev. Bras. Biom.*, São Paulo, v.31, n.2, p.176-188, 2013.

- **ABSTRACT:** *The aim of this study was to compare the results obtained by Eberhart and Russell (1966) method, discriminant analysis and neural network artificial in an analysis of the phenotypic adaptability and stability of alfafa (Medicago sativa) genotypes. The alfafa (Medicago sativa) forage yield of 92 genotypes was used. The trial had a randomized block design, with two replicates, and the data were used to test the method. The genotypes underwent 20 cuts, from November 2004 to June 2006. Each cut was considered an environment. The results*

obtained by artificial neural network presented higher concordance index with to the results obtained by the method of Eberhart and Russell than those obtained by the discriminant analysis.

- **KEYWORDS:** Plant breeding; genotype x environment interaction; simulation.

4 Referências

- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. 4.ed. Viçosa: UFV, 2012. v.1. 514p.
- CRUZ, C. D.; TORRES, R. A.; VENCOSKY, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. *Revista Brasileira de Genética*, v.12, p.567-80. 1989.
- CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v.35, p.271-276, 2013.
- EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, v.6, p.36-40, 1966.
- FERREIRA, D. F. *Estatística multivariada*. Lavras: UFLA, 2008. 662 p.
- FERREIRA, R. de P.; BOTREL, M. de A.; RUGGIERI, A.C.; PEREIRA, A. V.; COELHO, A. D. F.; LÉDO, F. J. da S.; CRUZ, C. D. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de alfafa em relação a diferentes épocas de corte. *Ciência Rural*, v.34, p.265-269, 2004.
- FINLAY, K. W.; WILKINSON, G. N. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research*, v.14, p.742-754, 1963.
- HASTIE, T.; TIBSHIRANI, R.; FRIEDMAN, J. *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*. Springer: New York. 2009.745p.
- LÉDO, F. J. da S.; BOTREL, M. de A.; EVANGELISTA, A. R.; VIANA, M. C. M.; PEREIRA, A. V.; SOUZA SOBRINHO, F. de; OLIVEIRA, J. S.; XAVIER, D. F.; HEINEMANN, A. B. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de alfafa avaliadas em Minas Gerais. *Ciência e Agrotecnologia*, v.29, p.409-414, 2005.
- NASCIMENTO, M.; CRUZ, C. D.; CAMPANA, A. C. M.; TOMAZ, R. S.; SALGADO, C. C.; FERREIRA, R. de P. Alteração no método centróide de avaliação da adaptabilidade genotípica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.44, p.263-269, 2009a.
- NASCIMENTO, M.; FERREIRA, A.; CAMPANA, A. C. M.; SALGADO, C. C.; CRUZ, C. D. Multiple centroid methodology to analyze genotype adaptability. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v.9, p.8-16, 2009b.
- NASCIMENTO, M.; FERREIRA, A.; FERRÃO, R. G.; CAMPANA, A. C. M.; BHERING, L. L.; CRUZ, C. D.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A. da. Adaptabilidade e estabilidade via regressão não paramétrica em genótipos de café. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.45, p.41-48, 2010.
- NASCIMENTO, M.; PETERNELLI, L. A.; CRUZ, C. D.; NASCIMENTO, A. C. C.; FERREIRA, R. de P.; BHERING, L. L.; SALGADO, C. C. Artificial neural networks for adaptability and stability evaluation in alfalfa genotypes. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*. v.13, p.152-156, 2013.

NOGUEIRA, A. P. O.; SEDIYAMA, T.; CRUZ, C. D.; REIS, M. S.; PEREIRA, D. G.; JANGARELLI, M. Novas características para diferenciação de cultivares de soja pela análise discriminante. *Ciência Rural*, v.38, n.9, p.2427-2433, 2008.

R Development Core Team R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <<http://www.r-project.org>>. 2010.

ROCHA, R.B. ; ABAD, J. I. M.; ARAUJO, E. F.; CRUZ, C. D. Avaliação do método centróide para estudo de adaptabilidade ao ambiente de clones de *Eucalyptus grandis*. *Ciência Florestal*. v.15, p.255-266, 2005.

SUDRÉ, C. P.; CRUZ, C. D.; RODRIGUES, R.; RIVA, E.M.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; SILVA, D. J. H., PEREIRA, T. N. S. Variáveis multicatóricas na determinação da divergência genética entre acessos de pimenta e pimentão. *Horticultura Brasileira*, Campinas, v.24, n.1, p.88-93, 2006.

VENABLES, W.N.; RIPLEY, B.D. *Modern Applied Statistics with S*. Springer: New York, 2002. 493p.

VENTURA, R. V.; SILVA, M. A.; MEDEIROS, T. H.; DIONELLO, N. L.; MADALENA, F. E.; FRIDRICH, A. B.; VALENTE, B. D.; SANTOS, G. G.; FREITAS, L. S.; WENCESLAU, R. R.; FELIPE, V. P. S.; CORRÊA, G. S. S. Uso de redes neurais artificiais na predição de valores genéticos para peso aos 205 dias em bovinos da raça Tabapuã. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* v.64, p.411-418, 2012.

Recebido em 05.05.2013

Aprovado após revisão em 16.09.2013

Tabela A1 - Classificação dos genótipos de acordo com as três metodologias descritas no trabalho

Genótipo	Eberhart e Russel		Redes Neurais		Análise Discriminante	
	Adap.*	Est.	Adap.	Est.	Adap.	Est.
Winter	G	P ^{ns}	G	P	G	P
SPS 6550	G	P ^{ns}	G	P	G	I
Primavera	D	P ^{ns}	D	P	D	P
LE N 1	G	P ^{ns}	G	P	G	I
Trindade 87	G	P ^{ns}	D	I	D	P
LE N 2	G	P ^{ns}	G	P	G	I
LE Semit 711	G	P ^{ns}	F	P	G	I
Topper	D	I*	D	P	D	P
LE N 3	G	P ^{ns}	D	I	D	P
Sequel HR	G	P ^{ns}	G	P	G	I
LE N 4	G	P ^{ns}	G	P	G	I
Victoria SP INTA	G	P ^{ns}	D	I	G	I
Monarca SP INTA	G	P ^{ns}	G	P	G	I
Bárbara SP INTA	G	P ^{ns}	G	P	G	I
PRIMAVERA	G	P ^{ns}	G	P	G	I
Aca 900	G	P ^{ns}	G	P	D	P
5 939	G	I**	G	P	D	P
WL 612	D	P ^{ns}	D	P	D	P
Medina	G	P ^{ns}	G	P	D	P
N 910	G	P ^{ns}	G	P	G	I
Coronado	D	P ^{ns}	D	P	G	P
Eterna	G	P ^{ns}	G	P	G	P
DK 193	G	I**	G	P	G	P
Candombe	G	P ^{ns}	D	P	D	I
WL 414	D	P ^{ns}	D	P	G	P
Crioula	G	P ^{ns}	G	P	G	P
LE Semit 711	G	P ^{ns}	D	P	G	I
DK 181	G	P ^{ns}	F	P	G	I
5 929	G	P ^{ns}	D	I	D	P
Activa	F	P ^{ns}	F	P	F	I
Sequel 2	G	P ^{ns}	G	P	D	P
Califónia 60	G	P ^{ns}	G	P	D	P
Cuf 1010	G	P ^{ns}	G	P	D	P
58 N 58	G	P ^{ns}	G	P	G	I
Diamind	G	P ^{ns}	G	P	G	I
Aurora	F	P ^{ns}	F	P	G	I
Sundor	F	P ^{ns}	F	P	G	I
Springfield	G	P ^{ns}	G	P	G	I

...continua

Tabela A1 - Classificação dos genótipos de acordo com as três metodologias descritas no trabalho (continuação)

Genótipo	Eberhart e Russel		Redes Neurais		Análise Discriminante	
	Adap.*	Est.	Adap.	Est.	Adap.	Est.
Sutter	G	P ^{ns}	G	P	G	I
Hunterfield	G	P ^{ns}	F	P	G	I
P 105	G	P ^{ns}	G	P	G	I
Prointa Patricia	F	P ^{ns}	F	P	G	I
Flórida 77	G	P ^{ns}	G	I	G	I
Síriver 2	G	P ^{ns}	G	P	G	I
WL 516	D	I**	D	P	D	P
Tahoe	G	P ^{ns}	F	P	G	P
Esmeralda SP INTA	G	P ^{ns}	G	P	G	I
DK 167	G	P ^{ns}	G	P	G	I
DK 177	D	P ^{ns}	D	P	D	P
5 683	G	P ^{ns}	G	P	G	I
WL 414	G	P ^{ns}	F	P	G	I
Express	G	P ^{ns}	D	I	G	I
F 708	G	P ^{ns}	G	P	G	I
Perla SP INTA	G	P ^{ns}	G	P	G	I
Prointa Lujan	F	P ^{ns}	F	P	F	I
DK 166	G	P ^{ns}	G	P	G	I
Platino	F	P ^{ns}	F	P	G	I
Maxidor	G	P ^{ns}	G	P	G	I
Amerigraze 701	G	P ^{ns}	G	P	G	I
13 R Supreme	G	P ^{ns}	D	I	D	P
Pecos	G	P ^{ns}	G	P	G	I
Califórnia 50	G	P ^{ns}	G	P	G	I
Maricopa	G	P ^{ns}	G	P	G	I
Kern	F	P ^{ns}	F	P	F	I
Costera SP INTA	G	P ^{ns}	G	P	G	I
F 686	D	I*	D	P	D	P
Monarca	G	P ^{ns}	G	P	G	I
Patrícia	G	P ^{ns}	G	P	G	P
Tango	D	P ^{ns}	D	P	G	P
Bárbara	D	P ^{ns}	D	P	G	P
Rio Grande	D	P ^{ns}	G	P	G	I
Key II	F	P ^{ns}	F	P	F	I
Gala	G	P ^{ns}	G	P	G	I
Lujan	D	I**	D	P	D	P
Perla	G	P ^{ns}	G	P	G	I
5683 L	F	P ^{ns}	F	P	G	I

...continua

Tabela A1 - Classificação dos genótipos de acordo com as três metodologias descritas no trabalho (continuação)

Genótipo	Eberhart e Russel		Redes Neurais		Análise	
	Adap.*	Est.	Adap.	Est.	Adap.	Est.
Victoria	G	P ^{ns}	G	P	G	I
DK 194	G	P ^{ns}	D	P	D	P
WL 442	G	P ^{ns}	G	P	G	I
P 30	G	P ^{ns}	G	P	G	I
P 5715	G	P ^{ns}	G	P	G	I
Alfa 200	G	P ^{ns}	G	P	G	I
Aca 901	F	P ^{ns}	F	P	G	I
Gapp 969	G	P ^{ns}	D	P	G	I
Rocio	D	P ^{ns}	D	P	G	P
GT 13 R Plus	G	P ^{ns}	G	P	G	P
WL 525	D	P ^{ns}	D	P	D	I
Sequel	D	P ^{ns}	D	P	D	P
DK 187 R	G	I*	D	P	D	P
Pinto	G	P ^{ns}	G	P	G	I
Bacana	G	P ^{ns}	G	P	G	P
Siriver	G	P ^{ns}	G	I	G	I
Percentual de concordância	Eberhart e Russell (1966) e Análise Discriminante				Adaptabilidade: 72,83%	
					Estabilidade: 28,26%	
	Eberhart e Russell (1966) e Redes Neurais				Adaptabilidade: 81,52%	
					Estabilidade: 83,69%	