

PROJEÇÃO DE DISTÂNCIAS COMO MÉTODO AUXILIAR NA CLASSIFICAÇÃO DE ARROZ IRRIGADO QUANTO A ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE

Gabi Nunes SILVA¹
Antônio Carlos da SILVA JÚNIOR²
Isabela de Castro SANT'ANNA³
Cosme Damiano CRUZ²
Moysés NASCIMENTO³
Plínio César SOARES⁴

- RESUMO: O arroz (*Oryza sativa*) representa um dos mais importantes grãos em termos de valor econômico, destacando-se como o segundo cereal mais cultivado e um dos mais consumidos em todo mundo. O objetivo deste trabalho foi propor o método de Projeção de Distâncias, para auxiliar na classificação de genótipos de arroz irrigado quanto à adaptabilidade e estabilidade. O delineamento utilizado foi de blocos casualizados em três locais e avaliados em quatro anos, perfazendo um total de 12 ambientes. Previamente foram realizadas análise de variância e análises de adaptabilidade e estabilidade por meio dos Métodos de Eberhart e Russel (1966) e Centroide para posteriores análises gráficas por meio do Método de Projeção de Distâncias proposto neste estudo. As projeções foram construídas sob dois princípios, a saber, complemento do coeficiente de determinação ou distância de Gower. Os resultados indicaram grandes potencialidades do método gráfico proposto. As representações gráficas fornecidas pelo método Projeção de Distâncias, facilitaram o reconhecimento do padrão de interação G x E dos genótipos de arroz avaliados, tendo em vista as dificuldades de interpretação e discordância entre os resultados das metodologias de Eberhart e Russell e Centroide.
- PALAVRAS-CHAVE: *Oryza sativa*; classificação; interação G×E; zoneamento.

1 Introdução

O arroz (*Oryza sativa*) constitui um dos alimentos de melhor balanceamento nutricional, sendo capaz de fornecer 20% da energia e 15 % da proteína per capita necessária ao homem, destacando tal cultura como o segundo cereal mais cultivado e um dos mais consumidos em todo mundo (WALTER *et al.*, 2008). Por ser uma cultura que se

¹ Universidade Federal de Rondônia - UNIR, Departamento de Matemática e Estatística, CEP: 76900-726, Ji-Paraná, RO, Brasil. E-mail: gabi.silva@unir.br

² Universidade Federal de Viçosa - UFV, Departamento de Biologia Geral, CEP: 36570-000, Viçosa, MG, Brasil, E-mail: antonio.silva.c.junior@gmail.com; cdacruz@ufv.br

³ Universidade Federal de Viçosa - UFV, Departamento de Estatística, CEP: 36570-977, Viçosa, MG, Brasil, E-mail: isabelacsantanna@gmail.com; moysesnascim@ufv.br

⁴ Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - EPAMIG, Campus UFV - Vila Gianetti, CEP: 36571-000, Viçosa, MG, Brasil, E-mail: plinio@epamig.ufv.br

adapta bem a diversas condições de solo e clima, os programas de melhoramento de grãos e espécies agrícolas em geral têm se empenhado para identificar e selecionar genótipos que sejam estáveis e que apresentem alta produtividade em diversos ambientes (NETO *et al.*, 2013).

Nesse sentido, estudos de adaptabilidade e estabilidade para a avaliação da interação genótipo \times ambiente (G \times E) têm sido realizados por meio de metodologias baseadas em estratificação ambiental (LIN e BINNS, 1988) e por regressão linear simples, múltipla ou não-paramétrica (FINLAY e WILKINSON, 1963; EBERHART e RUSSELL, ROCHA *et al.*, 2005). Estudos mais recentes têm proposto métodos gráficos, como os métodos BILOT e AMMI (CROSSA, 1990; OLIVEIRA *et al.*, 2010) para avaliação da interação G \times E por meio da análise de correlações entre genótipos e ambientes.

Apesar de eficientes, a experiência tem demonstrado que, quando aplicadas isoladamente, essas metodologias apresentam algumas limitações como a não informação sobre interações específicas de genótipos com ambientes e também entre ambientes, além de serem de difícil interpretação (MALOSETTI *et al.*, 2013). A discordância de classificação entre métodos aplicados aos mesmos genótipos também tem sido relatada por diversos autores (FARIA *et al.*, 2017; MALOSETTI *et al.*, 2013; BARROSO *et al.*, 2017), de modo que novas metodologias devem ser propostas e testadas complementarmente aos métodos convencionais já preconizados pela literatura.

À luz do exposto, o objetivo do presente estudo foi propor um novo método gráfico, baseado em análises de similaridade do comportamento dos genótipos e dos ambientes e zoneamento, intitulado Método de Projeção de Distâncias, para avaliação de interação G \times E.

2 Material e métodos

Dados de produtividade de dezoito genótipos de arroz irrigado do programa de melhoramento genético de arroz irrigado de Minas Gerais foram avaliados nas safras de 2012/2013, 2013/2014, 2014/2015 e 2015/2016, em Nova Porteirinha (latitude 15° 48' 0.77" S, longitude 43° 17' 59.09" W e altitude 533.77 m), Leopoldina (latitude 21° 31' 48.01" S, longitude 42° 38' 24.00" W e altitude 257.29 m) e Lambari (latitude 21° 58' 11.24" S, longitude 45° 20' 59.60" W e altitude 887.55 m). O experimento foi conduzido sob o delineamento de blocos casualizados para os três locais dentro de cada ano considerado, perfazendo um total de 12 ambientes.

Análises de variância, individual e conjuntas, foram aplicadas para avaliar os genótipos. Diante das interações significativas entre genótipos e ambientes, foram realizadas análises de adaptabilidade e estabilidade pelas metodologias de Eberhart e Russel (1966) e Centroide (ROCHA *et al.*, 2005).

A partir das classificações obtidas pelos métodos de Eberhart e Russel (1966) e Centroide, propõe-se neste estudo a análise gráfica por meio da metodologia de Projeção de distâncias. As análises foram realizadas no programa GENES (CRUZ, 2016). As classes dadas pelos métodos de Eberhart e Russel (1966) e Centroide seguem descritas nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Classes de genótipos obtidas por meio do método de Eberhart & Russel (1966) e respectivos valores paramétricos. (M_i : média de produção do genótipo i ; M : média geral; R_i^2 : coeficiente de determinação do genótipo i)

Classe	Classificação	Valores paramétricos
I	Adaptabilidade geral	$M_i > M, \beta_{1i} = 1 e R_i^2 > 70\%$
II	Adapt. específica a ambientes favoráveis	$M_i > M, \beta_{1i} > 1 e R_i^2 > 70\%$
III	Adapt. específica a ambientes desfavoráveis	$M_i > M, \beta_{1i} < 1 e R_i^2 > 70\%$
IV	Restrição à recomendação (Pouco adaptado)	$M_i > M e R_i^2 < 70\%$
V	Não recomendados (Pouco adaptado)	$M_i < M$

Tabela 2 - Classes de genótipos obtidas por meio do método do Centroide (Rocha *et al.*, 2005). (M_{max} : máxima produtividade; M_{min} : mínima produtividade)

Classe	Classificação	Ambientes favoráveis	Ambientes desfavoráveis
I	Adaptabilidade geral alta	M_{max}	M_{max}
II	Adapt. específica a ambientes favoráveis	M_{max}	M_{min}
III	Adapt. específica a ambientes desfavoráveis	M_{min}	M_{max}
IV	Mínima adaptabilidade (Pouco adaptado)	M_{min}	M_{min}

As classes IV e V do Eberhart e Russel (1966) (Tabela 1) e a classe IV do Centroide (Tabela 2) referem-se a material descartável ou pouco adaptado, pois consistem em classes de genótipos que apresentam média de produção superior à média geral mas $R_i^2 < 70\%$; média de produção inferior à média geral; e mínima produtividade tanto em ambientes favoráveis quanto desfavoráveis, respectivamente. Desse modo, a fim de facilitar a discussão dos resultados obtidos nos tópicos que se seguem, trataremos sempre as classes IV e V do Eberhart e Russel (1966) (Tabela 1) como equivalentes à classe IV do Centroide (Tabela 2), uma vez que as três classes contemplam genótipos tidos como pouco adaptados.

Os genótipos avaliados encontram-se descritos na Tabela 3.

Tabela 3 - Identificação das 18 linhagens de arroz irrigado do estado de Minas Gerais avaliadas no Ensaio de Valor de Cultivo e Uso (VCU) de 2012/2013 a 2015/2016

Identificação	Linhagem	Identificação	Linhagem
G1	BRA 031001	G10	BRA 041230
G2	BRA 041099	G11	PREDILETA
G3	BRA 02691	G12	MGI 0717-18
G4	RUBELITA	G13	BRA 02708
G5	MGI 0607-1	G14	BRA 031006
G6	BRA 02706	G15	BRA 01330
G7	SELETA	G16	BRA 041236
G8	OUROMINAS	G17	BRA 031018
G9	CNAI 9091	G18	RIO GRANDE

2.1 Método de projeção de distâncias

O método de Projeção de Distâncias proposto neste estudo consiste em um método de análise gráfica para estudos de diversidade genética e é útil pois permite representar graficamente qualquer medida entre dois pares de indivíduos (genótipos e/ou, ambientes) (CRUZ *et al.*, 2014). O método de Projeção de Distâncias é semelhante ao método de componentes principais (PEARSON, 1901), no entanto, no método de componentes principais, tais componentes são construídos a partir de valores individuais (ou médias). A análise a projeção proposta, por sua vez, é feita a partir de uma matriz especial, composta pelas duas medidas que propusemos para o estudo e explicadas mais a frente: o complemento do coeficiente de correlação ($1 - R^2$) e a medida de distância de Gower.

No procedimento original de projeção, as medidas de dissimilaridade são convertidas em escores que graficamente irão representar, num espaço bi ou tridimensional, as distâncias originais de interesse, e é originalmente avaliado por meio da correlação entre as distâncias originais e as que serão representadas no gráfico de dispersão (CRUZ *et al.*, 2014).

Na Projeção de Distâncias proposta neste estudo, as matrizes representativas das medidas de dissimilaridade foram associadas às informações relativas aos grupos de classificação dos genótipos e dos ambientes estabelecidos previamente pelos Métodos de Eberhart e Russel (1966) e Centróide (ROCHA *et al.*, 2005), e construídas segundo dois princípios. Primeiramente propõe-se uma projeção cujas matrizes representativas do padrão de proximidade de comportamento foram obtidas usando princípio de correlações, projeção denotada como Proj/($1 - R^2$). No segundo princípio, as matrizes foram construídas usando distâncias de Gower entre pares de genótipos, de ambientes ou de genótipo e ambiente, projeção denotada como Proj/G.

Combinando os grupos de classificação dos genótipos e ambientes fornecidos pelos métodos de Eberhart e Russel (1966) ou Centróide, e matrizes adotadas – Proj/(1-R²) ou Proj/G – este trabalho contemplou o estudo de quatro cenários.

As medidas de dissimilaridade foram adotadas para avaliar simultaneamente o comportamento de g genótipos em e ambientes. A dissimilaridade foi estruturada numa matriz de dimensão $(g+e) \times (g+e)$ envolvendo dois blocos diagonais $D_{g \times g}$ e $D_{e \times e}$ – dispostos na diagonal principal – e a informação $D_{g \times e} = D_{e \times g}^T$ – incluída na diagonal secundária da matriz.

Para a matriz de dissimilaridade obtida usando princípio de correlações (Proj/(1-R²)), as informações do desempenho dos g genótipos em e ambientes constituíram a matriz de dados (M) a partir da qual foi gerada a submatriz $D_{g \times g}$ em que os elementos representavam o valor do complemento do coeficiente de determinação (1-R²) entre as colunas da matriz M.

De forma análoga, a transposta da matriz M permitiu a obtenção da submatriz $D_{e \times e}$ em que os elementos representavam o valor 1-R² entre as colunas de M^T. Uma nova transformação na matriz M permitiu a obtenção da submatriz de dissimilaridade $D_{g \times e}$. Esta transformação consistiu em transformar o valor máximo e mínimo de cada coluna de M em 0 e 1, respectivamente. Os demais valores foram interpolados dentro destes limites. A junção destas submatrizes [$D_{g \times g}$ $D_{g \times e}$; $D_{e \times g}$ $D_{e \times e}$] gerou a matriz D submetida a análise de projeção de distâncias.

Para gerar a matriz de dissimilaridade de distâncias de Gower, utilizou-se procedimento análogo ao descrito anteriormente. A distância de Gower é semelhante a qualquer outra distância, tais como Euclidiana e Mahalanobis, e difere destas apenas por guardar o princípio de variar entre 0 a 1, pois divide os desvios absolutos pela amplitude. Este fato de estar entre 0 e 1 permitiu que tal medida de projeção fosse adotada para a construção da matriz de dissimilaridade. A partir da matriz M, foi possível obter as submatrizes $R_{g \times g}$ e $R_{e \times e}$ que representam os blocos diagonais da matriz R. A submatriz $R_{g \times e}$ foi estabelecida de forma idêntica ao descrito anteriormente, e as submatrizes dos blocos diagonais de dissimilaridade foram obtidas por meio do complemento aritmético do coeficiente de Gower (S_{ij}) (GOWER, 1971), descrito tal como Moura *et al.* (2010) na equação

$$S_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^p w_{ijk} s_{ijk}}{\sum_{k=1}^p w_{ijk}},$$

em que p : número de variáveis (no nosso caso $p = e$, para obtenção de $R_{g \times g}$ e $p = g$, para obtenção de $R_{e \times e}$); w_{ijk} : peso dado à comparação ijk , atribuindo-se 1 para comparações válidas e 0 para valores ausentes; s_{ijk} : similaridade entre i e j (i e j , representam pares de genótipos ou pares de ambientes) para a variável k ($0 \leq s_{ijk} \leq 1$).

3 Resultados e discussões

O efeito significativo ($p < 0.01$) da interação entre genótipos e ambientes mostrou o desempenho diferenciado das linhagens avaliadas em relação às mudanças ambientais (Tabela 4). Não houve diferença significativa entre as médias para os dados de produtividade considerados, fato justificado pelo avançado estágio de melhoramento em que se encontram tais linhagens, fator que dificulta a detecção de diferenças entre as médias gerais de tais linhagens.

Tabela 4 - Resumo da análise de variância conjunta das linhagens de arroz avaliadas quanto à produtividade de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) em 12 ambientes do estado de Minas Gerais

FV	GL	QM	F
Bloco/Amb	24	3214399	-
Genótipos (G)	17	1954786	1.28 ^{ns}
Ambientes (E)	11	128702466	40.04 ^{**}
G x E	148	1516798	1.69 ^{**}
Resíduo	317	894726	
Média	4.925		
CV(%)	19,21		

^{**} Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

^{ns} não significativo.

Os resultados obtidos pelas metodologias de Eberhart e Russell (1966) e Centroide indicaram diferenças relevantes entre o ranqueamento das linhagens ao adotar um método em detrimento ao outro (Tabela 5).

Considerando que as classes IV e V do método de Eberhart e Russel e a classe IV do Centroide são equivalentes, verificou-se 50% de discordância entre as classificações dos 18 genótipos avaliados.

O genótipo BRA 02708 (G13) foi classificado como pertencente à classe I (adaptabilidade geral) pelo Eberhart e Russel (1966), e como pertencente à classe III (adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis) pelo Método do Centroide (Tabela 5).

As cultivares comerciais SELETA (G7) e RIO GRANDE (G18) foram classificadas como pouco adaptadas (classe V) pelo método de Eberhart e Russel (1966), e como de adaptabilidade específica a ambientes favoráveis (classe II) pelo Método do Centroide (Tabela 5). Tais resultados reforçam que métodos distintos podem apresentar classificações distintas ao ranquear genótipos, de modo que a utilização de mais de uma metodologia daria maior credibilidade aos resultados (BARROSO *et al.*, 2017; PELÚZIO *et al.*, 2008).

Tabela 5 - Estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade para produção de grãos (kg.ha⁻¹) de 18 linhagens de arroz irrigado obtidas pelo método de Eberhart e Russell (1966) e pertinências (P(I),..., P(IV)) obtidas pelo método do Centróide. $\hat{\beta}_{0i}$: média de produtividade do genótipo i; $\hat{\beta}_{1i}$: coeficiente da regressão; R²(%): coeficiente de determinação.

Genótipos	Eberhart e Russel (1966)				Centróide				
	β_0	β_1	R ² (%)	Classe	P(I)	P(II)	P(III)	P(IV)	Classe
G3	5.302 ⁺	1.095 ^{ns}	80.43	I	0.331	0.205	0.275	0.189	I
G12	5.298 ⁺	0.764 [*]	77.24	III	0.319	0.160	0.357	0.164	III
G8	5.228 ⁺	0.985 ^{ns}	93.51	I	0.314	0.259	0.225	0.202	I
G5	5.13 ⁺	1.008 ^{ns}	91.63	I	0.282	0.243	0.252	0.223	I
G13	5.027 ⁺	0.930 ^{ns}	78.69	I	0.254	0.239	0.262	0.245	III
G10	5.008 ⁺	1.076 ^{ns}	93.51	I	0.235	0.298	0.212	0.255	II
G14	4.987 ⁺	0.759 [*]	76.31	III	0.258	0.236	0.265	0.241	III
G17	4.98 ⁺	0.890 ^{ns}	82.23	I	0.254	0.219	0.288	0.240	III
G1	4.976 ⁺	0.992 ^{ns}	88.31	I	0.244	0.255	0.245	0.256	IV
G15	4.965 ⁺	0.942 ^{ns}	93.08	I	0.246	0.278	0.226	0.250	II
G7	4.909	1.026 ^{ns}	84.82	V	0.238	0.270	0.231	0.261	II
G2	4.834	1.031 ^{ns}	90.49	V	0.213	0.310	0.201	0.277	II
G18	4.831	1.186 [*]	93,39	V	0.218	0.331	0.193	0.259	II
G9	4.799	0.982 ^{ns}	84,82	V	0.226	0.267	0.232	0.276	IV
G16	4.631	0.823 [*]	92,78	V	0.207	0.222	0.268	0.304	IV
G4	4.618	1.239 [*]	87,75	V	0.153	0.367	0.150	0.330	II
G11	4.562	1.137 ^{ns}	89,91	V	0.180	0.282	0.194	0.344	IV
G6	4.56	1.134 ^{ns}	89,35	V	0.188	0.260	0.212	0.341	IV

⁺ Valores acima da média geral

^{*}, ^{**} Significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste t, respectivamente;

^{ns} não significativo.

Os resultados obtidos pela Método de Projeção de Distâncias proposto neste estudo encontram-se explicitados nas Figuras 1, 2, 3 e 4 e indicam comportamento similar dos genótipos tanto para a análises baseadas no R² (Figuras 1 e 2), quanto para as análises que adotaram a similaridade de Gower como critério para a projeção (Figuras 3 e 4). A dispersão dos dados da informação da dissimilaridade entre genótipos e ambientes, baseada em projeções, discriminou bem ambientes favoráveis e desfavoráveis e os resultados revelaram

que, no geral, as linhagens de arroz irrigado avaliadas neste estudo apresentam maior correlação e similaridade com os ambientes favoráveis.

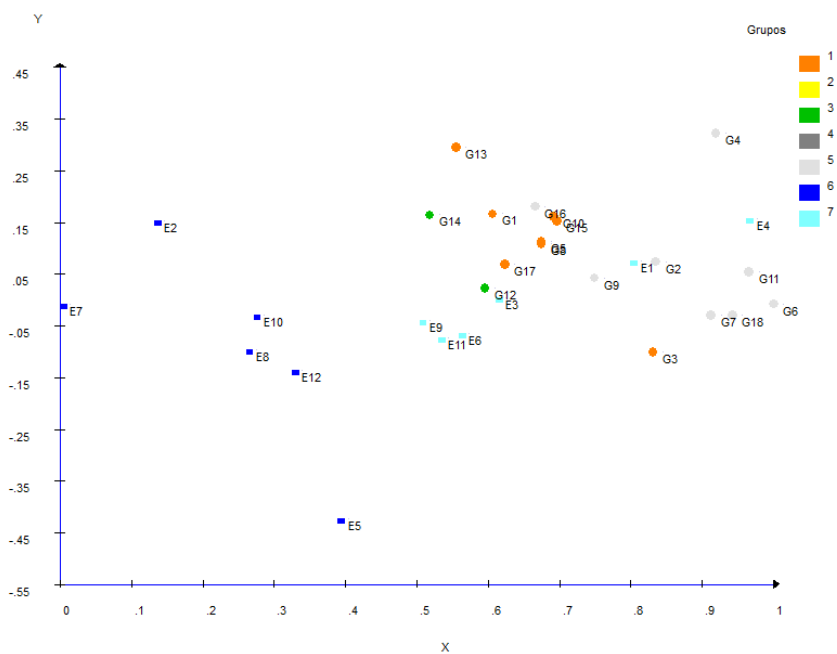


Figura 1 - Projeção 2D de dissimilaridade obtida para os genótipos (G_i , $i = 1, \dots, 18$) e ambientes (E_j , $j = 1, \dots, 12$), ao adotar a matriz $(1 - R^2)$ ao considerar as classes obtidas pelo método de Eberhart & Russell (1966). Grupos: 1 – Adaptabilidade geral (Média alta; R^2 alto e $\beta = 1$); 2 – Adaptabilidade a ambientes favoráveis (Média alta, R^2 alto e $\beta > 1$); 3 – Adaptabilidade a ambientes desfavoráveis (Média alta, R^2 alto e $\beta < 1$); 4 – Genótipos não selecionados (Média alta e R^2 baixo); 5 – Genótipos não selecionados (Média baixa); 6 – Ambientes desfavoráveis e 7 – Ambientes favoráveis.

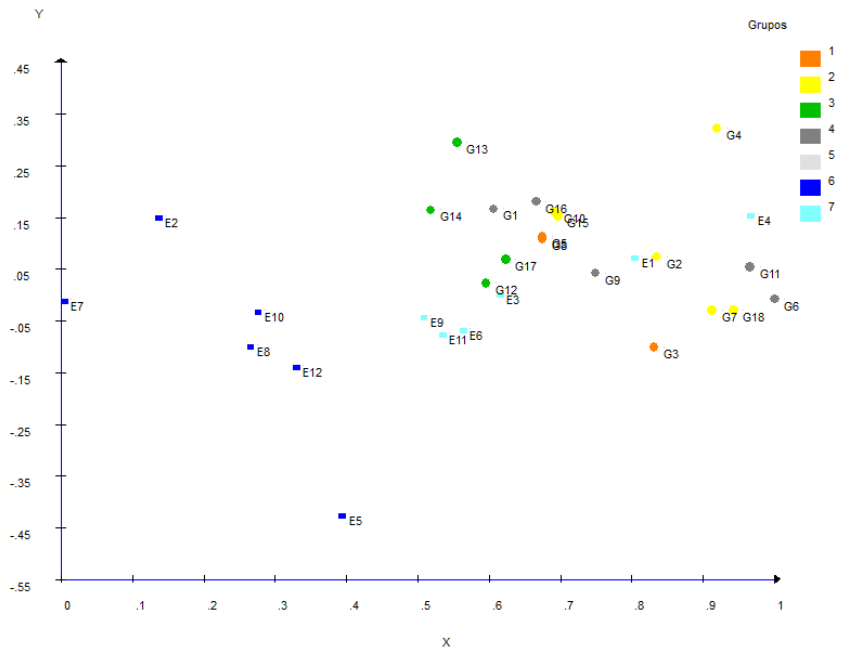


Figura 2 - Projeção 2D de dissimilaridade obtida para os genótipos (G_i , $i = 1, \dots, 18$) e ambientes (E_j , $j = 1, \dots, 12$), ao adotar a matriz $(1 - R^2)$ ao considerar as classes obtidas pelo método do Centróide. Grupos: 1 – Adaptabilidade geral (Média alta; R^2 alto e $\beta = 1$); 2 – Adaptabilidade a ambientes favoráveis (Média alta, R^2 alto e $\beta > 1$); 3 – Adaptabilidade a ambientes desfavoráveis (Média alta, R^2 alto e $\beta < 1$); 4 – Genótipos não selecionados (Média alta e R^2 baixo); 5 – Genótipos não selecionados (Média baixa); 6 – Ambientes desfavoráveis e 7 – Ambientes favoráveis.

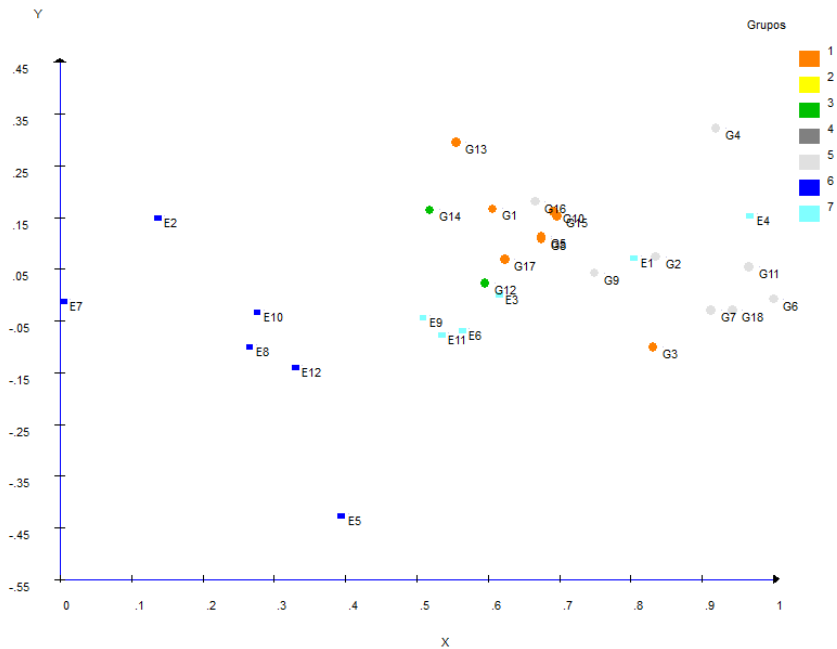


Figura 3 - Projeção 2D de dissimilaridade obtida para os genótipos (G_i , $i = 1, \dots, 18$) e ambientes (E_j , $j = 1, \dots, 12$), ao adotar a matriz de distância de Gower ao considerar as classes obtidas pelo método de Eberhart & Russell (1966). Grupos: 1 – Adaptabilidade geral (Média alta; R^2 alto e $\beta = 1$); 2 – Adaptabilidade a ambientes favoráveis (Média alta, R^2 alto e $\beta > 1$); 3 – Adaptabilidade a ambientes desfavoráveis (Média alta, R^2 alto e $\beta < 1$); 4 – Genótipos não selecionados (Média alta e R^2 baixo); 5 – Genótipos não selecionados (Média baixa); 6 – Ambientes desfavoráveis e 7 – Ambientes favoráveis.

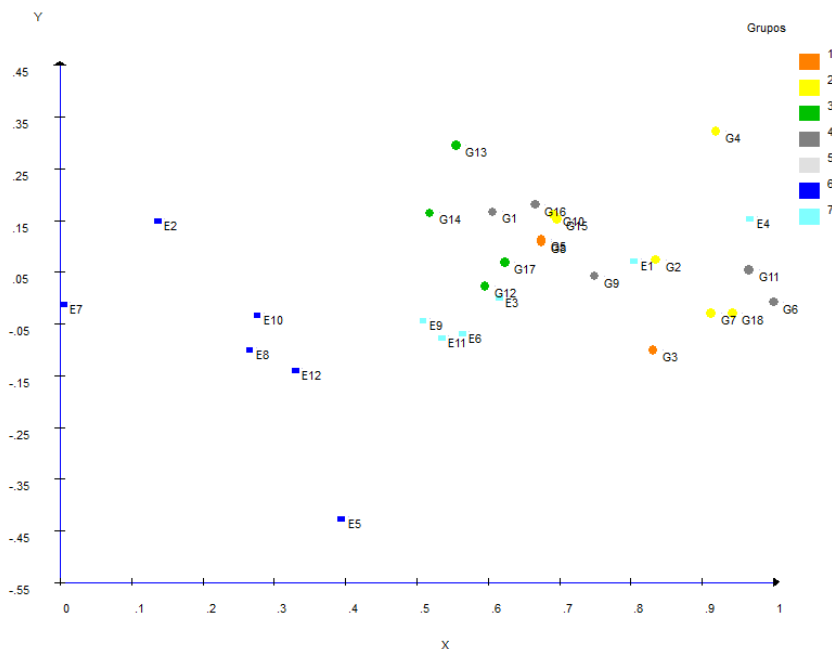


Figura 4 - Projeção 2D de dissimilaridade obtida para os genótipos (G_i , $i = 1, \dots, 18$) e ambientes (E_j , $j = 1, \dots, 12$), ao adotar a matriz de distância de Gower ao considerar as classes obtidas pelo método de Centróide. Grupos: 1 – Adaptabilidade geral (Média alta; R^2 alto e $\beta = 1$); 2 – Adaptabilidade a ambientes favoráveis (Média alta, R^2 alto e $\beta > 1$); 3 – Adaptabilidade a ambientes desfavoráveis (Média alta, R^2 alto e $\beta < 1$); 4 – Genótipos não selecionados (Média alta e R^2 baixo); 5 – Genótipos não selecionados (Média baixa); 6 – Ambientes desfavoráveis e 7 – Ambientes favoráveis.

Os gráficos de Projeção de distância mostraram que o genótipo BRA 02708 (G13) apresenta maior correlação e similaridade com ambientes favoráveis e ainda, que este genótipo apresenta alta correlação e similaridade com os genótipos MGI 0607-1 (G5) e BRA 031018 (G17) (Figuras 1 a 4). Tais resultados dão maior credibilidade aos resultados obtidos pelo Eberhart e Russel (1966), que classificou tal genótipo como de adaptabilidade geral (Tabela 5), e alertam que devemos ser cautelosos ao adotar as classes de probabilidade dadas pelo Centróide, uma vez que por diversas classes, os valores de pertinência obtidos por essa metodologia são muito similares entre uma classe e outra, o que pode levar o pesquisador a tomar uma decisão equivocada (Tabela 5).

Outra classificação que deve ser avaliada com cautela é a dada ao genótipo BRA 031001 (G1), pois segundo Eberhart e Russel (1966), G1 foi classificado como de adaptabilidade geral, no entanto, o Método do Centróide classificou esse mesmo genótipo

como pouco adaptado, ou seja, com média superior que a média geral e R^2 baixo (Tabela 5). Pelos gráficos de projeção, percebeu-se que o genótipo G1 apresentou maior correlação (Figuras 1 e 2) e maior similaridade (Figura 3 e 4) com os ambientes favoráveis. A pertinência dada pelo Centroide para o genótipo G1 foi de 0,2442 para a classe I e de 0,2559 para a classe IV (Tabela 5). Mais uma vez alerta-se que as proximidades dos valores de pertinência dados pelo Centroide podem levar a confundimento nas classificações dos genótipos.

As cultivares comerciais SELETA (G7) e RIO GRANDE (G18) apresentaram maior correlação e similaridade com o genótipo BRA 02691 (G3), classificado como de adaptabilidade geral para ambas as metodologias (Eberhart e Russel (1966) e Centroide) e também com os ambientes favoráveis (Figuras 1 a 4), resultados que dariam maior credibilidade, nesse caso, aos resultados obtidos pelo Centroide (Tabela 5). No entanto, se avaliarmos a cultivar comercial RUBELITA (G4), classificada como não recomendável (classe V) pelo Eberhart e Russell (1966), dada sua média inferior à média geral do experimento e classificada como de adaptabilidade específica a ambientes favoráveis (classe II) pelo método do Centroide (Tabela 5), verifica-se que esta apresenta maior proximidade com o ambiente A4 para todos os gráficos obtidos – utilizando Proj/(1- R^2) ou Proj/G – classificado como favorável. As pertinências dadas pelo método do Centroide desse genótipo pertencer à classe de genótipos não recomendados (IV) e de adaptabilidade específica a ambientes favoráveis (classe II) também foram muito similares (0,330 e 0,367, respectivamente), o que gerou confundimento na classificação dada pelo método do Centroide. Mais uma vez a representação gráfica foi útil pois facilitou a visualização de tais relações entre genótipos e ambientes.

Com base nos resultados obtidos, destacamos as grandes contribuições dadas pela metodologia de Projeção de distâncias proposta neste estudo, que além de permitir uma avaliação simultânea de genótipos e ambientes, vem para auxiliar na tomada de decisão do melhorista, anteriormente realizada com base somente nas metodologias tradicionais de Eberhart e Russell (1966) e Centroide, de modo a agregar informações gráficas bastante relevantes aos estudos de adaptabilidade e estabilidade. Outros autores já avaliaram o uso de metodologias gráficas para estudos de adaptabilidade e estabilidade e concluíram que métodos gráficos auxiliam na avaliação de genótipos que apresentam dificuldades e divergências na interpretação dos resultados via métodos tradicionais de classificação (FARIA *et al.*, 2017; MIRANDA *et al.*, 2009; NAMORATO, *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2008; EPSKAMP *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2016).

Conclusões

Neste trabalho propôs-se uma metodologia gráfica baseada no Método de Projeção de Distâncias, de modo a auxiliar os programas de melhoramento no processo de tomada de decisão na classificação de genótipos quanto a adaptabilidade e estabilidade. Os resultados evidenciaram similaridade entre os gráficos obtidos pela estratégia baseada em R^2 e estratégia baseada na medida de Gower para criar as projeções, e demonstraram que o método gráfico de Projeção de Distâncias proposto apresentou grande utilidade, principalmente na avaliação das linhagens de arroz irrigado que apresentaram grandes divergências entre as classificações dadas pelos métodos de Eberhart e Russell (1966) e Centroide.

Em estudos futuros, recomenda-se que a metodologia Projeção de Distâncias seja utilizada conjuntamente aos métodos biométricos para determinar a adaptabilidade e estabilidade nas diferentes linhagens, para assim complementar as informações obtidas e obter conclusões com maior rigor nos programas de melhoramento.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), a Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro e aos revisores e editores pelas sugestões.

SILVA, G. N.; SILVA JÚNIOR, A. C.; SANT'ANNA, I. C.; CRUZ, C. D.; NASCIMENTO, M.; SOARES, P. C. Distance projection as an auxiliary method in irrigated rice classification as adaptability and stability. *Rev. Bras. Biom.* Lavras, v.37, n.2, p.229-243, 2019.

- **ABSTRACT:** *Rice (Oryza sativa) represents one of the most important grains in terms of economic value, standing out as the second most cultivated cereal and one of the most consumed in the world. The objective of this work was to propose the Distances Projection method to aid in the classification of irrigated rice genotypes for adaptability and stability. The design was randomized blocks in three locations and evaluated in four years, making a total of 12 environments. Previously, variance analysis and adaptability and stability analyzes were performed using the Eberhart and Russel and Centroid methodologies for subsequent graphic analysis using the Distance Projection Method proposed in this study. The projections were constructed under two principles, that is, complement of the determination coefficient or distance of Gower. The results indicated great potential of the proposed graphic method. The graphical representations provided by the Distance Projection method facilitated the recognition of the interaction pattern G x E of the evaluated rice genotypes, considering the difficulties of interpretation and disagreement between the results of the Eberhart and Russell and Centroid methodologies.*
- **KEYWORDS:** *Oryza sativa; classification; G×E interaction; zoning.*

Referências

BARROSO, L. M. A.; NASCIMENTO, M.; NASCIMENTO, A. C. C.; SILVA, F. F.; FERREIRA, R. P. F.; CRUZ, C. D.; TEIXEIRA, F. R. F.; TEODORO, P. E. Semelhanças e discordâncias entre métodos de adaptabilidade e estabilidade. *Revista Brasileira de Biometria*, v.35, n.3, p.634-644, 2017.

CROSSA, J. Statistical analysis of multilocation trials. *Advances in Agronomy*, v.44, p.55-85, 1990.

CRUZ, C. D. Genes Software – extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. *Acta Scientiarum*, v.38, n.4, p.547-552, 2016.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. 3.ed. Viçosa: UFV, 2014.

EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, v.6, n.1, p.36-40, 1966.

- EPSKAMP, S.; CRAMER, A. O. J.; WALDORP, L. J.; SCHMITTMANN, V. D.; BORSBOOM, D. qgraph: network visualizations of relationships in psychometric data. *Journal of Statistical Software*, v.48, n.4, p.1-18, 2012.
- FARIA, S. V.; LUZ, L. S.; RODRIGUES, M. C.; CARNEIRO, J. E. S.; CARNEIRO, P. C. S.; DeLIMA, R. O. Adaptability and stability in commercial maize hybrids in the southeast of the State of Minas Gerais, Brazil. *Revista Ciência Agronômica*, v.48, n.2, p.347-357, 2017.
- FINLAY, K. W.; WILKINSON, G. N. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research*, v.14, n.6, p.742-754, 1963.
- GOWER, J. C. A general coefficient of similarity and some of its properties. *Biometrics*, v.27, n.4, p.857-874, 1971.
- LIN, C. S.; BINNS, M. R. A superiority measure of cultivar performance for cultivars x location data. *Canadian Journal of Plant Science*, v.68, n.1, p.193-198, 1988.
- MALOSETTI, M.; RIBAUT, J. M.; van EEUWIJK, F. A. The statistical analysis of multi-environment data: modeling genotype-by-environment interaction and its genetic basis. *Frontier in Physiology*, v.4, n.44, 2013.
- MIRANDA, G. V.; SOUZA, L. V.; GUIMARÃES, L. J. M.; NAMORATO, H.; OLIVEIRA, L. R.; SOARES, M. O. Multivariate analyses of genotype x environment interaction of popcorn. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.44, n.1, p.45-50, 2009.
- MOURA, M. C. C. L.; GONÇALVES, L. S. A.; SUDRÉ, C. P.; RODRIGUES, R.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; PEREIRA, T. N. S. Algoritmo de Gower na estimativa da divergência genética em germoplasma de pimenta. *Horticultura Brasileira*, v.28, n.2, 2010.
- NAMORATO, H.; MIRANDA, G. V.; SOUZA, L. V.; OLIVEIRA, L. R.; DeLIMA, R. O.; MANTOVANI, E. E. Comparing Biplot Multivariate Analyses with Eberhart and Russell' method for genotype x environment interaction. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v.9, n.4, p.299-307, 2009.
- NETO, A. R.; JUNIOR, E. U. R.; GALLO, P. B.; FREITAS, J. G.; AZZINI, L. E. Comportamento de genótipos de arroz de terras altas no estado de São Paulo. *Revista Ciência Agronômica*, v.44, n.3, p.512-519, 2013.
- OLIVEIRA, R. L.; VON PINHO, R. G.; BALESTRE, M.; FERREIRA, D. V. Evaluation of maize hybrids and environmental stratification by the methods AMMI and GGE biplot. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v.10, n.3, p.247-253, 2010.
- PEARSON, K. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. *Philosophical Magazine*, v.2, n.11, p.559-572, 1901.
- PELUZIO, J. M.; FIDELIS, R. R.; GIONGO, P. R.; SILVA, J.C.; CAPPELLARI, D.; BARROS, H. B. Análise de regressão e componentes principais para estudo da adaptabilidade e estabilidade em soja. *Scientia Agraria*, v.9, n.4, p.455-462, 2008.
- ROCHA, R.; MURO-ABAD, J. I.; ARAUJO, E. F.; CRUZ, C. D. Avaliação do método centroide para estudo de adaptabilidade ao ambiente de clones de *Eucalyptus grandis*. *Ciência Florestal*, v.15, n.3, p.255-266, 2005.

SILVA, A. R. D.; RÊGO, E. R. D.; PESSOA, A. M. D. S.; RÊGO, M. M. D. Correlation network analysis between phenotypic and genotypic traits of chili pepper. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.51, n.4, p.372-377, 2016.

SILVA, F. L.; SOARES, P. C.; CARGNIN, A.; SOUZA, M. A.; SOARES, A. A.; CORNÉLIO, V. M. O.; REIS, M. S. Methods of adaptability and stability analysis in irrigated rice genotypes in Minas Gerais, Brazil. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v.8, p.119-126, 2008.

WALTER, M.; MARCHEZAN, E.; AVILA, L. A. Arroz: composição e características nutricionais. *Ciência Rural*, v.38, n.4, p.1184-1192, 2008.

Recebido em 05.06.2018

Aprovado após revisão em 05.09.2018