

AVALIAÇÃO DE GUARANAZEIRO EM ENSAIOS MULTI-AMBIENTES PELO MODELO GGE BIPLLOT

André Luiz Atroch¹
Firmino José do Nascimento Filho²
Jackson Araújo dos Santos³
Eva Maria Alves Cavalcanti Atroch⁴
Inocência Júnior de Oliveira⁵

RESUMO - A seleção dos melhores materiais genéticos para plantio em uma região não é uma tarefa fácil devido aos altos custos envolvidos na implantação e condução dos experimentos finais de avaliação e na recomendação de cultivares e o efeito do ambiente faz com que seja preciso avaliar a estabilidade e adaptabilidade fenotípica. O objetivo deste trabalho foi avaliar a adaptabilidade e a estabilidade de 27 genótipos de guaranazeiro em quatro locais pelo método GGE biplot para os dados multi-ambientes (MET) da produção de semente seca de guaraná para investigação do mega-ambiente de destino e avaliação de genótipos e ambientes dentro de cada mega-ambiente. Os gráficos da análise GGE biplot foram bem construídos pois os dois primeiros eixos principais explicaram 87,5% da variação da produção. Foi possível identificar dois mega-ambientes formados pelos ambientes teste Maués, Manaus e DAS, e por IRAND. Os genótipos 372, 505, 831, 838 e 215 apresentaram alta produtividade, mas não foram estáveis. Foi identificado o genótipo ideótipo 871 (BRS Maués) mostrando alta produtividade e estabilidade e os genótipos que mais se aproximaram do ideótipo foram 874 e 952. O ambiente teste IRAND possuiu maior poder discriminante para os genótipos. O ambiente teste DAS não discriminou os genótipos.

Palavras-chave: *Paullinia cupana*, interação genótipos x ambientes, estabilidade, adaptabilidade, GGE biplot.

EVALUATION OF GUARANA CROP IN MULTI-ENVIRONMENTAL TRIALS BY THE GGE BIPLLOT MODEL

ABSTRACT - The selection of the best genetic materials for planting in a region is not an easy task due to the high costs involved in implementing and conducting the final experiments for evaluating and recommending cultivars. The objective of this work was to evaluate the adaptability and stability of 27 guarana genotypes in four environments using the GGE biplot method for multi-environment data (MET) of dry guarana seed production for investigation of the target mega-environment and evaluation of genotypes and environments within each mega-environment. The graphs of the GGE biplot analysis were well constructed because the first two main axes explained 87.5% of the production variation. It was possible to identify two mega-environments formed by the test environments Maués, Manaus and DAS, and by the test environment IRAND. Genotypes 372, 505, 831, 838 and 215 showed high productivity, but were not stable. There was identified the ideotype 871 (BRS Maués) showing high productivity and stability and the genotypes that came closest to the ideotype were 874 and 952. The test environment IRAND had greater discriminating power for genotypes. The test environment DAS did not discriminate between genotypes.

Key words: *Paullinia cupana*, genotype x environment interaction, stability, adaptability, GGE biplot.

¹ Engenheiro Agrônomo, Doutor em genética, conservação e biologia evolutiva, pesquisador da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM. andre.atroch@embrapa.br (autor correspondente)

² Engenheiro Agrônomo, Doutor em genética e melhoramento vegetal, pesquisador da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM. firmino.filho@embrapa.br

³ Engenheiro Agrônomo, Mestre em Fitotecnia, analista da Embrapa Amapá, Rodovia Juscelino Kubitschek, km 5, Macapá, AP. jackson.santos@embrapa.br

⁴ Bióloga, Doutora em Botânica, Fisiologia Vegetal, professora associada do Instituto de Ciências Biológicas, Laboratório de Cultura de Tecidos Vegetais, UFAM, AM. eatroch@ufam.edu.br

⁵ Engenheiro Agrônomo, Doutor em genética e melhoramento vegetal, pesquisador da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM. inocencio.oliveira@embrapa.br

INTRODUÇÃO

A seleção dos melhores materiais genéticos para plantio em uma região não é uma tarefa fácil devido aos altos custos envolvidos na implantação e condução dos experimentos finais de avaliação e recomendação de cultivares. Esse fato é ainda mais complicado no caso de cultivos perenes, como a cultura do guaranazeiro, em que o grande espaçamento de plantio, implicando em grandes áreas experimentais, e o longo tempo de avaliação, produzindo altos custos de manutenção dos experimentos, assumem grande importância e exigem procedimentos de avaliação e decisão eficientes, para a recomendação final de materiais para plantios em áreas comerciais.

Além disso, esses experimentos devem ser conduzidos em um maior número de ambientes possíveis, que são essenciais porque a presença da interação genótipos por ambientes (G x E) é um complicador na tomada de decisão do melhorista em indicar a melhor cultivar, pois a mudança da performance relativa de genótipos em cada ambiente complica a avaliação de cultivares. Segundo Gauch & Zobel (1996), se não existisse interação G x E, uma única cultivar prevaleceria no mundo inteiro e um único experimento bastaria para avaliação de cultivar.

No guaranazeiro a presença da interação G x E foi constatada em diversas fases do programa de melhoramento (NASCIMENTO FILHO & GARCIA, 1993; NASCIMENTO FILHO, ATROCH & CRAVO, 2000; NASCIMENTO FILHO, 2003; PINTO et. al, 2018), o que dificulta a seleção de materiais genéticos superiores para plantio. As peculiaridades biológicas da pesquisa em melhoramento genético com espécies perenes são descritas por Resende (2002), quais sejam: sobreposição de gerações, ciclo reprodutivo longo, reprodução sexuada e assexuada, expressão dos caracteres ao longo das várias idades, o que tornam o melhoramento genético de perenes bastante diferenciado do melhoramento de culturas anuais, necessitando, portanto, de procedimentos estatísticos ótimos para tomada de decisões.

Para atenuar os efeitos da interação G x E existem vários métodos de avaliação da adaptabilidade e estabilidade, que diferem quanto aos seus conceitos e procedimentos biométricos de estimativas (EBERHART & RUSSEL, 1966; LIN et al., 1986; LIN & BINNS, 1988; CRUZ et al., 1989; CROSSA, 1990; CORNELIUS et al., 1992; ANNICCHIARICO, 1992; CROSSA et al., 1995; CHAPMANN et al., 2000). A grande maioria destes métodos consiste no desenvolvimento de índices de estabilidade para quantificar e selecionar contra G x E (HONGYU et al., 2015). Outros métodos são dedicados a melhor compreensão da interação G x E, e alguns deles vem se destacando recentemente e ganhando grande aplicabilidade (HONGYU et al., 2014). Dentre esses destaca-se o modelo GGE biplot (YAN et al., 2000).

O modelo GGE biplot considera o efeito principal de genótipo mais a interação genótipos x ambientes (YAN et al., 2000). Seu uso é recomendado para distinguir mega-ambientes, selecionar os ambientes que mais representem os demais ambientes e discriminar e indicar quais os genótipos mais adaptados e estáveis a determinados ambientes (Yan, 2011).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a adaptabilidade e a estabilidade de 27 genótipos de guaranazeiro em quatro locais pelo método GGE biplot para os dados multi-ambientes (MET) da produção de semente seca de guaraná para investigação do mega-ambiente de destino e avaliação de genótipos e ambientes dentro de cada mega-ambiente.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados de produção em g.planta.ano⁻¹ utilizados neste trabalho foram obtidos de experimentos multiambientes (MET) com 27 genótipos de guaranazeiro provenientes do programa de melhoramento genético da Embrapa Amazônia Ocidental, média de sete (7) anos

de safra (2011 a 2017), conduzidos em quatro locais no estado do Amazonas: Manaus, Maués, Rio Preto da Eva (DAS) e Iranduba.

As características ambientais dos quatro locais são descritas a seguir: 1 - em Manaus, localizado no km 29 da Rodovia AM010 (02°53'25" S latitude e 59°38'06" W longitude), altitude de 50m; 2 - em Maués, localizado na Estrada dos Morais (03°23'56" S latitude e 53°40'24" W longitude), altitude de 18m; 3- em Rio Preto da Eva, no Distrito Agropecuário Suframa (DAS) localizado no km 54 da Rodovia BR-174 (02°25'54" S latitude e 59°33'49" W longitude); 4- em Iranduba, localizado na estrada do Caldeirão (3°15' S latitude e 60°20' W longitude), altitude de 50m. O solo nos locais do cultivo, é classificado como Latossolo Amarelo, profundos, com teores elevados de alumínio trocável, textura argilosa (Iranduba) a muito argilosa (Manaus, Maués, DAS), ácidos, com pH variando de 3,5 a 4,7, e com baixos teores de cálcio, potássio e fósforo, além de alta saturação de alumínio. O clima da área é o tropical chuvoso tipo Afi, com temperaturas mínimas variando de 22°C (Manaus) a 24,9°C (DAS). Temperaturas máximas variando de 28,2°C (DAS) a 37°C (Manaus). Amplitude térmica de 3,3°C (DAS) a 14,8°C (Manaus). Total de precipitação anual de 1365mm (Maués) a 2301mm (DAS).

O plantio foi realizado no início da estação chuvosa, de dezembro/2006 a março/2007, com estacas de rametes de primeira geração. As adubações e os tratos culturais foram os usuais para a cultura, de acordo com as recomendações do Sistema de Produção de Guaraná da Embrapa (TAVARES et al., 2005).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com arranjo fatorial 4x27, em oito (8) repetições de uma (1) planta por parcela.

O modelo estatístico para a análise de variância utilizado foi:

$$Y_{ijk} = m + B/L_{jk} + G_i + L_k + (GL)_{ik} + e_{ijk}, \text{ em que:}$$

Y_{ijk} : valor fenotípico observado para a característica Y avaliada no genótipo i, no bloco j, no local k;

m: média geral do experimento;

B/ L_{jk} : efeito aleatório do j-ésimo bloco dentro do k-ésimo local;

G_i : efeito fixo do i-ésimo genótipo;

L_k : efeito fixo do k-ésimo local;

(GL) $_{ik}$: efeito fixo da interação do genótipo i com o local k;

e_{ijk} : erro aleatório.

O método biplot desenvolvido por Gabriel (1971) tem a finalidade de representar graficamente resultados de análise de componentes principais ou de decomposição de valores singulares (DVS), em que o valor de cada elemento de uma tabela de dupla entrada pode ser visualizado pelo produto de vetores e pelo cosseno do ângulo entre dois vetores (Yan & Kang, 2003). Detalhes do método são apresentados por Hongyu et al. (2015), e tem por base os trabalhos de Yan (2002), Yan & Kang (2003), Yan & Holland (2010) e Yan (2011).

O modelo GGE biplot não separa G da GxE mantendo-os juntos em dois termos multiplicativos, que pode ser visualizado na seguinte equação.

$$Y_{ij} - \bar{y}_j = y_1 \varepsilon_{i1} \rho_{j1} + y_2 \varepsilon_{i2} \rho_{j2} + \varepsilon_{ij}$$

Em que: Y_{ij} representa o rendimento médio da i-ésima população no j-ésimo ambiente; \bar{y}_j é a média geral das populações no ambiente j; $y_1 \varepsilon_{i1} \rho_{j1}$ é o primeiro componente principal (IPCA1); $y_2 \varepsilon_{i2} \rho_{j2}$ é o segundo componente principal (IPCA2); y_1 e y_2 são os autovalores associados ao IPCA e IPCA2, respectivamente; ε_{i1} e ε_{i2} são os escores do primeiro e segundo

componente principal, respectivamente, da i -ésima população; ρ_{j1} e ρ_{j2} são os escores do primeiro e segundo componente principal, respectivamente, para o j -ésimo ambiente; ε_{ij} é o erro do modelo associado com i -ésima população e j -ésimo ambiente (YAN & KANG, 2003).

A construção do gráfico GGE biplot foi realizada de acordo com a metodologia de Yan & Kang (2003) e Yan (2011). O gráfico é construído baseado nos dois primeiros componentes principais de uma Análise de Componentes Principais (ACP) utilizando Modelos de Regressões Lineares Locais (SREG). O primeiro componente principal representa o rendimento atribuído ao genótipo, e o segundo componente principal representa a parte do rendimento devido a interação genótipo por ambientes (YAN & HOLLAND, 2010; YAN, 2011). O detalhamento da construção do gráfico biplot é exposto por Hongyu et al. (2015) baseados nos trabalhos de Yan et al. (2000), Yan & Kang (2003), Yan & Tinker (2006), Yan & Holland (2010), Yan (2011) e Silva & Benin (2012).

O conceito de mega-ambiente, definido por Gauch & Zobel (1997), ocorre quando diferentes cultivares estão adaptadas a diferentes grupos de ambientes e a variação entre grupos é maior do que a variação dentro de grupos, assim tem-se a formação de um mega ambiente. A determinação do mega-ambiente na análise GGE biplot está em função da média do mega-ambiente propriamente dito e não da média geral do experimento, sendo esta abordagem útil na identificação de genótipos que possuam adaptação ampla ou específica a determinados ambientes ou grupos de ambientes (YAN & KANG, 2003; YAN & TINKER, 2006). Hongyu et al. (2015) detalham a análise do gráfico GGE biplot com suas propriedades e representações, de acordo com Yan & Kang (2003), Yan & Tinker (2006) e Yan (2011).

As análises deste trabalho foram feitas utilizando o software R (R Development Core Team, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância para os dados obtidos é apresentada na Tabela 1. Houve diferenças altamente significativas ($p < 0,01$) para todas as fontes de variação. Houve variação significativa entre os genótipos indicando presença de variabilidade genética tornando possível a seleção de genótipos superiores. Para a fonte de variação locais a diferença significativa permite selecionar ambientes mais adequados ao cultivo do guaranazeiro. Trabalhos realizados por Nascimento Filho et al. (2009, 2010), Atroch et al. (2010) e Pinto et al. (2018), já demonstraram a presença de grande variabilidade genética no guaranazeiro e a importância do estudo da interação genótipos x ambientes.

A presença de interação significativa para a interação Genótipos x Locais (GxL) (Tabela 1) indica que o comportamento dos genótipos variou de um local para outro, com troca de classificação na produtividade dos genótipos. Desse modo, a análise GGE biplot é indicada para selecionar genótipos mais adaptados e mais estáveis a determinados ambientes, bem como determinar mega-ambientes e selecionar ambientes de teste para os genótipos.

TABELA 1. Análise de variância para a característica produção em g.planta.ano⁻¹ de 27 genótipos de guaranazeiro avaliados em 4 ambientes.

Fonte de Variação	G.L	Quadrados médios	F
Blocos/Locais	26	88890261,00	2,58**
Locais (L)	3	2627815526,00	29,56**
Genótipos (G)	26	112093882,00	3,25**
Interação GxL	78	57486048,00	1,67**
Erro	499	34481721,00	
Média Geral	6699		
CV (%)	87,65		

** significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Na análise da adaptabilidade e estabilidade dos 27 genótipos nos quatro ambientes pelo método GGE biplot observa-se que os dois primeiros componentes explicaram 87,50% da variação total da produção, e segundo Yang et al. (2009) apresenta uma boa confiabilidade pois explica mais de 60% da variação. A relação da informação (RI) dos quatro componentes principais contém padrão no primeiro componente principal ($RI > 1$), indicando associações entre ambientes, e no segundo componente ($R \approx 1$), não contém padrões que representem a interação, mas pode conter alguma informação independente, desse modo o biplot de dimensão 2 é considerado adequado para representar o padrão dos dados segundo Yan & Tinker (2006). O terceiro e o quarto componentes não contém padrões ($RI < 1$) (Tabela 2).

TABELA 2 – Proporção explicada, proporção acumulada e relação de informação dos quatro componentes principais. Manaus, AM.

Componentes Principais (CP)	Varição explicada (%)	Varição acumulada (%)	Relação da Informação (RI)
1	63,77	63,77	2,55
2	23,73	87,50	0,95
3	7,68	95,17	0,31
4	4,82	100,00	0,19

Resultados da análise GGE biplot em várias culturas indicam valores percentuais da variação acumulada nos dois primeiros componentes principais que corroboram com o valor encontrado neste trabalho, de 87,50%, e com o valor de mais de 60% de Yang et al. (2009). Em milho Hongyu et al. (2015) encontraram um valor de 63,96%, com RI de 1,57 e 1,00 para o primeiro e segundo componente respectivamente; Santos et al. (2017) em linhagens S1 de milho pipoca obtiveram o valor de 93,82% para os dois primeiros CP e RI de 3,47 no primeiro CP, os outros CP apresentaram baixa RI, mesmo assim o biplot foi considerado apropriado para representar o padrão da interação; Em cana de açúcar foi encontrado que 99,59% da variação acumulada foi retida nos dois primeiros componentes principais (SANTOS, 2017).

O desempenho de um genótipo específico em qualquer ambiente, bem como a identificação do ambiente em relação ao desempenho relativo dos genótipos pode ser visualizado na Figura 1, em que na abscissa do biplot apresentam-se os escores de PC1 e no eixo da ordenada os escores do PC2, dos genótipos e ambientes.

Os vetores dos ambientes estão indicados na Figura 1 e são formados pelas linhas que partem da origem do biplot. Os genótipos são representados pelas linhas imaginárias que também saem da origem do biplot. Os genótipos em que seus vetores fazem ângulo de 90° com o vetor ambiente estão próximos da média; os genótipos cujo ângulo de seus vetores com o vetor ambiente são maiores do que 90°, possuem desempenho abaixo da média e aqueles genótipos cujos vetores possuem ângulo menores do que 90° possuem desempenho maior do que a média, de acordo com Yan & Tinker (2006) e Yan (2011).

A Figura 1 mostra o gráfico “which-on-where” que permite agrupar os ambientes de teste baseado no cruzamento da interação genótipos x ambientes e genótipos. Nesse caso, identifica quais genótipos foram superiores e em quais ambientes, e a existência de mega-ambientes.

Pela Figura 1 pode-se observar a formação de dois mega-ambientes, o primeiro formado pelos locais DAS, Manaus e Maués (mega-ambiente 1) e o segundo com o local Iranduba (IRAND) (mega-ambiente 2). Os vértices do polígono são formados pelos genótipos 372, 498, 648/908 (ocupam o mesmo vértice), 932 e 838. Os genótipos 372 e 498 estão colocados nos vértices que abrangem os locais DAS, Manaus e Maués portanto são os mais adaptados nesse

mega-ambiente. Os genótipos 838 e 932 por sua vez são os mais adaptados ao mega-ambiente IRAND. Os genótipos 648 e 908 formam o vértice restante do polígono, mas não abrangem nenhum dos mega-ambientes, portanto são os menos adaptados a alguns ou a todos os locais. Os genótipos 871, 874, 952, 831, 819 e 886 são adaptados ao mega-ambiente 1. Os genótipos 196, 872, 215, 502, 505 e 623 são adaptados ao mega-ambiente 2. Os demais genótipos não apresentam relação com os mega-ambientes, sendo, portanto, considerados de baixa adaptação a alguns ou a todos os locais.

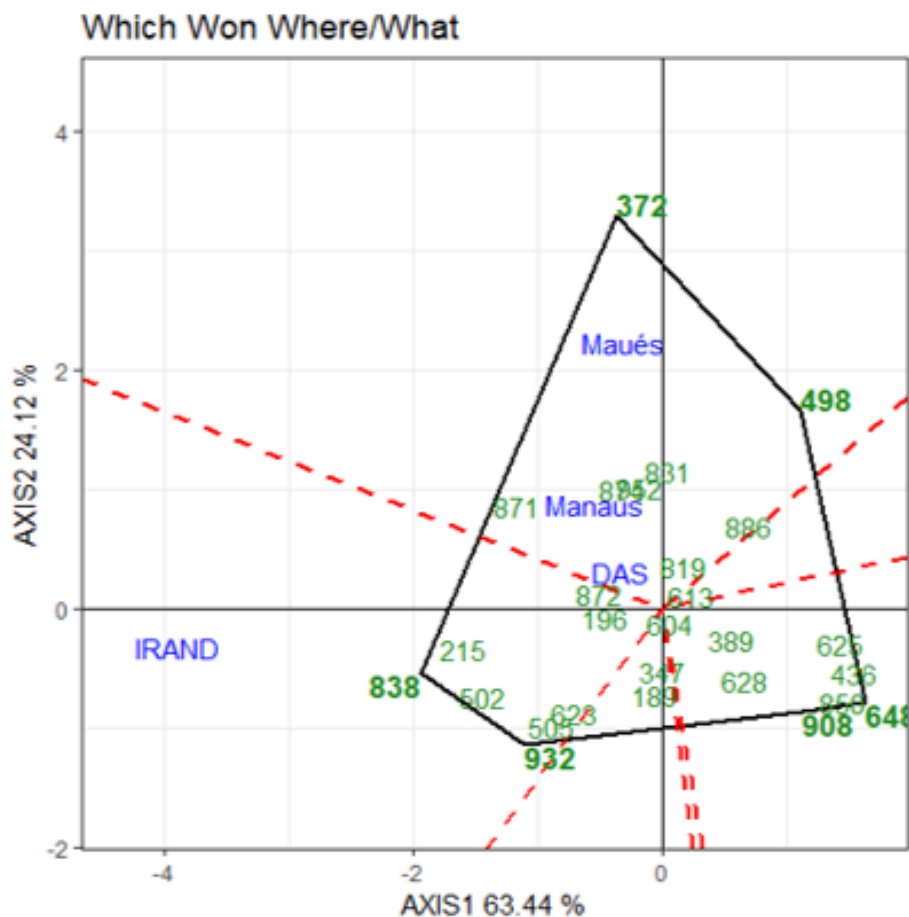


FIGURA 1. GGE biplot “Which Won Where/What” para os dados de produtividade de guaranazeiro (kg/planta), indicando quais dos genótipos apresentaram melhor desempenho em quais ambientes.

A avaliação dos genótipos para alta produtividade e boa estabilidade é realizada por meio do gráfico GGE biplot “Média versus Estabilidade” (Figura 2) (YAN et al., 2007; YAN, 2011) e essa avaliação é importante para verificar genótipos superiores e que apresentem comportamento altamente previsível mesmo com a mudança ambiental. No gráfico, a reta que passa pela origem do biplot é o eixo do ambiente-média (EAM), a seta nesse eixo representa o ambiente-média, que é definido pelas coordenadas médias de todos os ambientes de teste no biplot, e aponta para um maior desempenho dos genótipos. A outra linha perpendicular aponta para uma maior variabilidade, menor estabilidade, em ambas as direções.

Na Figura 2 os genótipos são classificados de acordo com a sua produtividade média da seguinte forma: 372>871>838>215>502...>505>623>média geral>498...>648. O genótipo 372 é altamente produtivo mas instável, pois sua produtividade não foi boa no ambiente IRAND.

Por outro lado o genótipo 871 apresenta-se com alta produtividade e boa estabilidade, situa-se exatamente no ponto de ambiente-média indicando que seu comportamento não varia quando muda-se o ambiente. O genótipo 872 possui uma boa estabilidade também, mas sua produtividade aproxima-se da média geral, não sendo interessante se o objetivo é selecionar genótipos altamente produtivos e estáveis. Os genótipos que apresentaram produtividades inferiores à média geral mostraram um comportamento de boa estabilidade, exceto 498, que é muito instável. O genótipo 648 é muito estável, mas é o pior em termos de produtividade média.

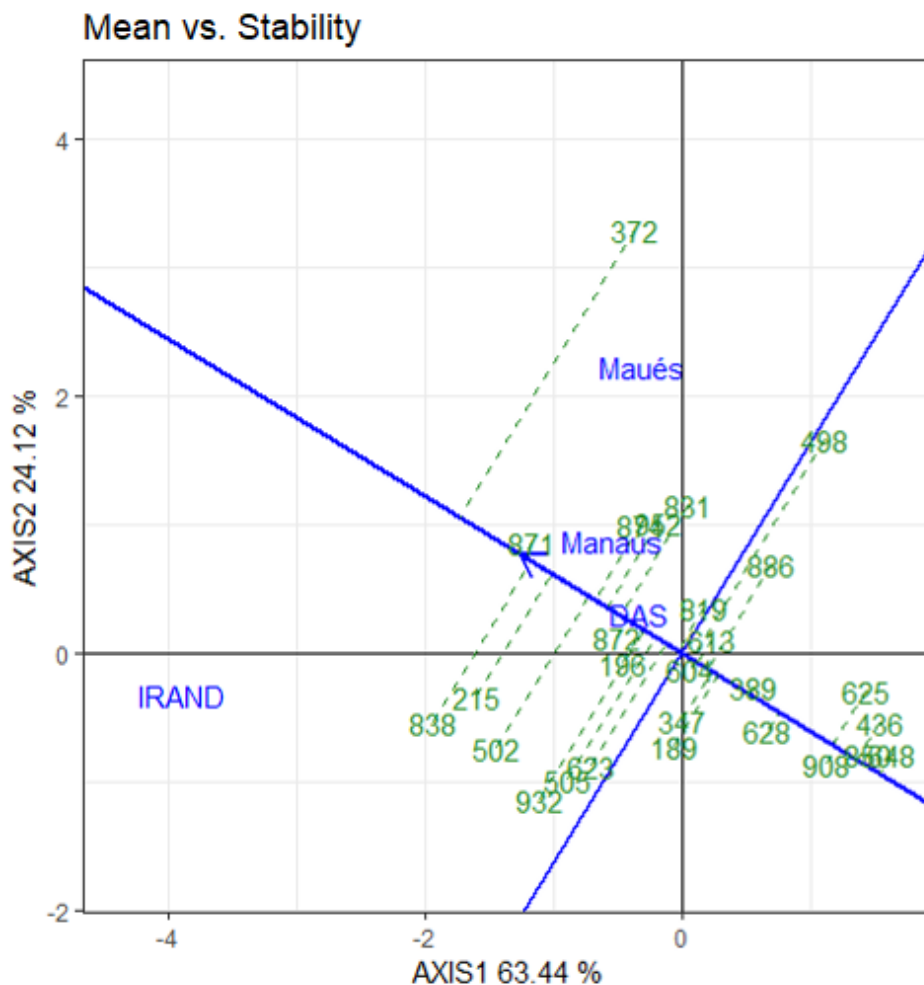


FIGURA 2. GGE biplot “Média versus Estabilidade” com eixo do ambiente-média (EAM) indicando o desempenho médio dos genótipos e a estabilidade.

O ideótipo é o genótipo almejado pelo melhorista com alta produtividade e alta estabilidade. A Figura 3 mostra o ideótipo determinado pelo genótipo formado pelo ponto sobre o EAM, que no gráfico, é a reta que passa pela origem do biplot e forma o eixo do ambiente-média (EAM) e aponta para um maior desempenho dos genótipos, no centro dos círculos concêntricos, no sentido positivo, com comprimento do vetor igual aos vetores mais longos dos genótipos sobre o lado positivo do EAM, portanto, mais alto desempenho médio.



FIGURA 3. GGE biplot com eixo do ambiente-média (EAM) para classificar os genótipos em relação ao ideótipo (no centro dos círculos concêntricos).

Nesse caso, o ideótipo identificado foi o genótipo 871, mostrando alta produtividade e estabilidade. Os genótipos 215, 838, 952, 874, 831 e 502 foram próximos do centro mas não foram estáveis. Os genótipos 874 e 952 foram estáveis e próximos do centro, sendo os que mais se aproximam do ideótipo 871. E o genótipo 372 apesar de altamente produtivo, foi instável (Figura 3). O genótipo 871 foi recomendado como cultivar para plantio no Amazonas no ano de 1999 sob a denominação de BRS Maués (NASCIMENTO FILHO et al., 1999), e hoje ocupa uma área plantada de mais de 50% dos cultivos comerciais no Estado, mantendo a sua alta produtividade e estabilidade de produção, corroborando o resultado encontrado nesse trabalho, como genótipo ideal para cultivo.

Em relação ao ambiente teste, o objetivo é identificar ambientes que possam ser usados para selecionar genótipos superiores para um mega-ambiente. Isso pode ser visualizado na Figura 4 do GGE biplot. Segundo Yan (2011), o biplot baseado em escala zero (dados centrados no ambiente), significa que o comprimento do vetor de um ambiente é proporcional ao desvio padrão das médias dos genótipos, que é igual à raiz quadrada da variância fenotípica em ambiente teste, o qual pode ser utilizado como medida do poder de discriminação do ambiente em relação aos genótipos.

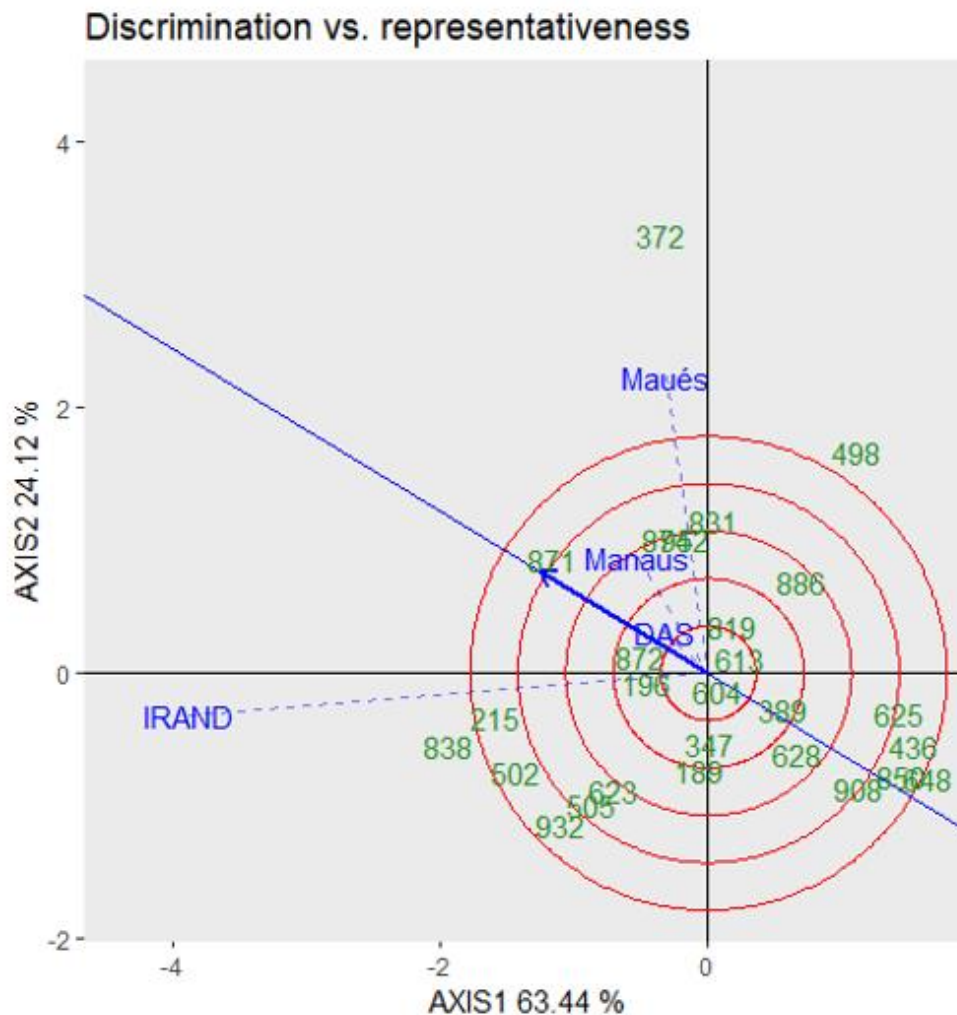


FIGURA 4. GGE biplot “Discriminação e representatividade” para mostrar a capacidade de discriminação e de representatividade dos ambientes de teste.

De acordo, com a Figura 4 observa-se que o ambiente teste IRAND possui o vetor de maior comprimento, sendo o de maior poder discriminante para os genótipos. Em segundo lugar, aparece o ambiente teste Maués, com grande poder discriminatório entre os genótipos. O ambiente teste DAS não apresentou poder para discriminar os genótipos, indicando que todos os genótipos tendem a se comportar de maneira semelhante nesse ambiente, sendo que pouca ou nenhuma informação sobre as diferenças genóticas podem ser identificadas nesse ambiente, e não deve portanto ser utilizado como ambiente teste. O ambiente teste Manaus apresentou um vetor de comprimento intermediário entre o maior (IRAND) e o menor (DAS) vetor, sendo um ambiente teste que pode ser mantido para uma melhor estimativa da interação genótipo x ambiente.

Estes resultados são importantes para orientar a condução do programa de melhoramento genético do guaranazeiro, pois indica em quais ambientes os genótipos podem expressar seu maior potencial genético para produtividade e os ambientes que podem ser descartados como ambiente teste por não representarem as condições para discriminar os genótipos, portanto sem poder de seleção genética.

A análise GGE biplot é de grande utilidade na seleção de genótipos com ampla adaptabilidade e boa estabilidade, e também para identificação de mega-ambientes. Diversos

autores utilizam a análise GGE biplot em cultivos perenes para que a seleção de genótipos e ambientes seja a mais eficiente possível. Em açazeiro, Yokomizo et al. (2017) utilizaram essa metodologia usando anos como fator ambiental e concluíram que as possibilidades do método GGE biplot auxilia na seleção de genótipos para várias características de cacho, com maiores valores médios e boa estabilidade. Farias Neto et al. (2018), em progênies de açai, utilizaram a análise GGE biplot e identificaram genótipos ideótipos e a presença de interação genótipos x anos, além de concluir que os genótipos com maior peso total de cachos apresentaram menor estabilidade. E, ainda, não existem trabalhos desenvolvidos utilizando a análise GGE biplot para a cultura do guaranazeiro.

CONCLUSÕES

Os gráficos da análise GGE biplot foram bem construídos pois os dois primeiros eixos principais explicaram 87,5% da variação da produção.

Foi possível identificar dois mega-ambientes, formados pelos ambientes teste Maués, Manaus e DAS, e por IRAND.

Os genótipos 372, 505, 831, 952, 838 e 215 apresentaram alta produtividade, mas não foram estáveis.

Foi identificado o genótipo ideótipo 871 (BRS Maués) mostrando alta produtividade e estabilidade e os genótipos que mais se aproximaram do ideótipo foram 874 e 952.

O ambiente teste IRAND possuiu maior poder discriminante para os genótipos.

O ambiente teste DAS não discriminou os genótipos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics and Breeding**, v.46, 269-278, 1992.

CHAPMAN, S. C.; COOPER, M.; HAMMER, G. L.; BUTLER, D. Genotype by environments interactions affecting grain sorghum II. Frequency of different seasonal patterns of drought. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.51, p.209-222., 2000.

CORNELIUS, P. L.; SEYEDSADR, M. S.; CROSSA, J. Using the shifted multiplicative model to search for “separability” in crop cultivar trials. **Theoretical and Applied Genetics**, v.84, p.161-172, 1992.

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

CROSSA, J.; CORNELIUS, P. L.; SAYRE, K.; ORTIZ-MONASTERIO, R. A. Shifted multiplicative model fusion method for grouping environments without cultivar rank change. **Crop Science**, v.35, p.54-62, 1995.

CRUZ, C. D.; TORRES, R. A. de; VENCOSKY, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. **Revista Brasileira de Genética**, v.12, p.567-580, 1989.

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

FARIAS NETO, J.T. de; YOKOMIZO, G. KEN-ITI; OLIVEIRA, M. S. P.; HONGYU, K. GGE biplot para estabilidade e adaptabilidade em progênies de açaizeiro de Anajás, PA. **Revista Agro@mbiente On-line**, v.12, n.1, p.409-417, 2018.

GABRIEL, K.R. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. **Biometrika**, v.58, n.3, p.453-467, 1971.

GAUCH, H. G. **Statistical analysis of regional yield trials: AMMI analysis of factorial designs**, Amsterdam, Elsevier, 1992.

GAUCH, H. G.; ZOBEL, R. W. **AMMI analysis of yield trails**. In: KANG, M. S.; GAUCH, H. G. (Ed) Genotype by environment interaction. New York: CRC Press, p.416-428, 1996.

GAUCH, H. G.; ZOBEL, R. W. Identifying mega-environments and targeting genotypes. **Crop Science**, v.37, n.2, p.311-326, 1997.

HONGYU, K.; GARCIA-PEÑA, M.; ARAÚJO, L. B.; DIAS, C. T. S. Statistical analysis of yield trials by AMMI analysis of genotype x environment interaction. **Biometrical Letters**, Poznan, v.51, p.89-102, 2014.

HONGYU, K.; SILVA, F.L.; OLIVEIRA, A.C.S.; SARTI, D.A.; ARAUJO, L.B.; DIAS, C.T.S. Comparação entre os modelos ammi e gge biplot para os dados de ensaios multi-ambientais. **Revista Brasileira de Biomassa**, v.33, n.2, p.139-155, 2015.

LIN, C. S.; BINNS, M. R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 68, p. 193-198, 1988.

LIN, C.S.; BINNS, M.R.; LEFKOVITCH, L.P. Stability analysis: where do we stand?. **Crop Science**, v.26, p.894-900, 1986.

NASCIMENTO FILHO, F. J. do. **Interação genótipos x ambientes, adaptabilidade, estabilidade e repetibilidade em clones de guaraná (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke)**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2003. 182p.

NASCIMENTO FILHO, F. J.; ATROCH, A. L.; CRAVO, M. S.; RIBEIRO, J. de R. C.; LIMA, L. dos P., FERREIRA, J. O. **Clones de guaranazeiro para o Estado do Amazonas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 1999. 3p. (Embrapa Amazônia Ocidental. Comunicado Técnico, 1).

NASCIMENTO FILHO, F.J. do; ATROCH, A.L.; CRAVO, M. da S. **Melhoramento genético do guaranazeiro**: resultados de ensaios de avaliação de clones – fase produtiva 1985 a 1994. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2000. 54p. (Embrapa Amazônia Ocidental. Boletim de Pesquisa, 7).

NASCIMENTO FILHO, F.J. do; GARCIA, T.B. **Competição e avaliação de clones de guaraná**. Manaus: EMBRAPA-CPAA, 1993. 37p. (EMBRAPA-CPAA. Programa 7 – Diversificação Agropecuária – Guaraná. Projeto 8.07.83.005-4). Projeto concluído.

PINTO, C.E.D.L; ATROCH, A.L.; FAJARDO, J.D.V.; NASCIMENTO FILHO, F.J. do. Seleção de clones de guaranazeiro para adaptabilidade e estabilidade no Estado do Amazonas. **Rev. Cienc. Agrar.**, v.61, 2018. <http://dx.doi.org/10.22491/rca.2018.2558>

R CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2019. Disponível em: <http://www.R-project.org/>.

SANTOS, A.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; KUROSAWA, R. N. F.; GERHARDT, I. F. S.; FRITSCH NETO, R. GGE Biplot projection in discriminating the efficiency of popcorn lines to use nitrogen. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, n.1, p. 22-31, 2017.

SANTOS, E.G.D. dos. **Uso de modelos mistos e GGE biplot na seleção de mega-ambientes e de genótipos de cana-de-açúcar**. Tese de Doutorado. Instituto Agrônomo, Campinas. 2017. 65p.

SILVA, R. R.; BENIN, G. Análises Biplot: conceitos, interpretações e aplicações. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.8, p.1404-1412, 2012.

TAVARES, A. M.; ATROCH, A. L.; NASCIMENTO FILHO, F. J.; PEREIRA, J. C. R.; ARAÚJO, J. C. A.; MORAES, L. A. C.; SANTOS, L. P.; GARCIA, M. V. B.; ARRUDA, M. R.; SOUSA, N. R.; ANGELO, P. C. S. **Cultura do Guaranazeiro no Amazonas**. In: PEREIRA, J. C. R. (Ed.). Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2005. 22 p. (Embrapa Amazônia Ocidental. Sistema de Produção 2, 4 Ed.).

YAN, W. GGE Biplot vs. AMMI Graphs for Genotype-by-Environment Data Analysis. **Journal of the India Society of Agricultural Statistics**, v.65, n.2, p.181-193, 2011.

- YAN, W. Singular-value partition for biplot analysis of multi-environment trial data. **Agronomy Journal**, v.94, n.5, p.990-996, 2002.
- YAN, W.; HUNT, L. A.; SHENG, Q.; SZLAVNICS, Z. Cultivar evaluation and megaenvironment investigation based on GGE biplot. **Crop Science**, v.40, n. 3, p.597-605, 2000.
- YAN, W.; KANG, M. S. **GGE Biplot Analysis: A Graphical Tool for Breeders, Geneticists, and Agronomists**. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 2003. 271p.
- YAN, W.; KANG, M. S.; MA, B.; WOODS, S.; CORNELIUS, P. L. GGE Biplots vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. **Crop Science**, v.47, p.643-655, 2007.
- YAN, W.; HOLLAND, J. B. A heritability-adjusted GGE biplot for test environment evaluation. **Euphytica**, v.171, n.3, p.355-369, 2010.
- YAN, W.; TINKER, A. Biplot analysis of multi environment trial data: principles and applications. **Canadian Journal of Plant Science**, v.86, n.3, p.623-645, 2006.
- YANG, R. C.; CROSSA, J. CORNELIUS, P. L.; BURGUEÑO, J. Biplot Analysis of Genotype \times Environment Interaction: Proceed with Caution. **Crop Science**, v. 49, p.1564–1576, 2009.
- YOKOMIZO, G. KEN-ITI; FARIAS NETO, J.T. de; OLIVEIRA, M. S. P.; HONGYU, K. Análise GGE biplot na avaliação de características de cachos em açaizeiros da região amazônica. **Mundo Amazônico**, v.8, n.1, 2017. <https://doi.org/10.15446/ma.v8n1.63456>.