

## Desempenho de progênies de açaizeiro pelo GGE Biplot

Gilberto Ken Iti Yokomizo<sup>1</sup>, João Tomé de Farias Neto<sup>2</sup>, Maria do Socorro Padilha de Oliveira<sup>2</sup>, Kuang Hongyu<sup>3</sup>

1. Centro de Pesquisa Agroflorestal do Amapá (EMBRAPA AMAPÁ), Amapá, Brasil.

[gilberto.yokomizo@embrapa.br](mailto:gilberto.yokomizo@embrapa.br)

<http://lattes.cnpq.br/4005192182571140>

<http://orcid.org/0000-0002-3790-4981>

2. Centro de Pesquisa Agroflorestal do Trópico Úmido (EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL), Pará, Brasil.

[joao.farias@embrapa.br](mailto:joao.farias@embrapa.br)

<http://lattes.cnpq.br/3837868873609532>

<http://orcid.org/0000-0002-0404-3556>

[socorro-padilha.oliveira@embrapa.br](mailto:socorro-padilha.oliveira@embrapa.br)

<http://lattes.cnpq.br/6955194101181577>

<http://orcid.org/0000-0002-4753-2018>

3. Universidade Federal do Mato Grosso, Mato Grosso, Brasil.

[kuang\\_hongyu@hotmail.com](mailto:kuang_hongyu@hotmail.com)

<http://lattes.cnpq.br/0270133834542310>

<http://orcid.org/0000-0002-8320-9074>

### RESUMO

O interesse pelo consumo dos frutos do açaizeiro em outras regiões do país torna necessárias pesquisas de melhoramento genético para a espécie. O método GGE Biplot foi utilizado com o objetivo de analisar o comportamento de 30 genótipos de açaizeiros provenientes do município de Anajás e cultivadas em Tomé-Açu, Pará. O delineamento experimental adotado foi blocos casualizados, três repetições e cinco plantas por parcela, considerando-se anos como ambientes. Foram avaliadas as características: peso total de frutos (PTF), em gramas; número total de cachos (NTC); e peso total de cachos (PTC), em gramas. Obtendo-se como conclusões que, genótipos distintos se destacaram aproximando-se mais do ideótipo, pela estabilidade ou adaptabilidade, destacando-se G10 para PTC, PTF e NTC; os genótipos com maiores valores médios têm menor estabilidade, excetuando-se apenas G10 em PTC e PTF; os GGE biplot permitem visualizar a disposição, o inter-relacionamento com efeitos ambientais e escolher genótipos superiores; para PTC o ambiente que melhor permite diferenciar os genótipos é A3; para PTF é A2 e para NTC é A1; quanto ao ambiente médio, que representa uma média entre todos os ambientes, tem-se como melhores A1 e A2 para PTC; A1 para PTF; enquanto que é o A2 para NTC.

**Palavras-chave:** *Euterpe oleracea*, interação genótipos x ambientes, melhoramento de plantas, estabilidade, adaptabilidade.

### Performance of the assai palm progenies by GGE Biplot

### ABSTRACT

The interest in the assai fruits in other regions of the country makes it necessary for genetic improvement for the species. The GGE Biplot method was employed with the objective of evaluate the behavior of 30 assai palm genotypes from the municipality of Anajás and cultivated in Tomé-Açu, Pará, by the GGE biplot, in a randomized block experimental design, three replicates and five plants per plot, considering years as environments. Were evaluated the characteristics: total fruit weight (PTF), in grams; total number of clusters (NTC) and; total weight of the bunches (PTC). Obtaining as conclusions that, distinct genotypes stood out approaching more of the ideotype, through the stability and adaptability, especially G10 to PTC, PTF and NTC; the genotypes with higher average values have less stability, except G10 in PTC and PTF; the GGE biplot allow to view the distribution, the inter-relationship with environmental effects and choose superior genotypes; for PTC the environment that best allows differentiating the genotypes is A3; for PTF it is A2 and for NTC it is A1; as for the average environment, which represents an average among all environments, the A1 and A2 are best for PTC; A1 for PTF; whereas it is A2 for NTC.

**Keywords:** *Euterpe oleracea*, interaction genotypes x environments, plant breeding, stability, adaptability.

### Introdução

O açaizeiro (*Euterpe oleracea*) é uma espécie frutífera e produtora de palmito, nativa da Amazônia, cuja produção de frutas é tradicionalmente baseada no extrativismo, tendo o estado do Pará como maior produtor e principal consumidor, onde se estabelecem densas e diversificadas populações em áreas úmidas. O Brasil é o maior produtor, consumidor e exportador de polpa de açaí (MENEZES, 2005), sendo que produziu em 2018 a quantidade de 1.510.022 t, numa área de 198.497 ha, gerando cerca de R\$ 3,265 bilhões, com a região Norte representando 99% destes valores, destacando-se o Pará com mais de 95% do total brasileiro (IBGE, 2020).

Anualmente há aumento da produção, contudo ainda insuficiente para atender a demanda crescente de consumo, incentivando o cultivo do açaizeiro em terra firme principalmente com irrigação (FARIAS NETO et al., 2011), enquanto as popula-

ções naturais encontram-se principalmente em áreas mais úmidas. O cultivo de açaizeiro irrigado em terra firme tem se mostrado mais atraente por permitir a mecanização, inclusive na colheita, obtendo produtividades bem mais elevadas que os açaizais nativos manejados. Outra vantagem verificada, segundo Dimenstein e Farias Neto (2008), é a eliminação/redução da sazonalidade da produção de frutos verificado no período de janeiro a junho (entressafra local), evitando a ociosidade das pessoas envolvidas na exploração e processamento dos frutos.

Trabalhos publicados demonstram a existência de diferenças genéticas entre populações e/ou progênies, fato este que abre a possibilidade na seleção de materiais superiores para as características de interesse (OLIVEIRA et al., 2000; FARIAS NETO et al., 2003; OHASHI; KAGEYAMA, 2012), contudo as informações são poucas em relação ao comportamento de indi-

víduos de diferentes populações cultivados na mesma localidade, eliminando-se as diferenças de ambiente que podem gerar uma resposta diferencial e frequente. Denomina-se de interação genótipo por ambiente (GxE) este comportamento, reduzindo a correlação entre os valores fenotípicos e genotípicos e dificulta a seleção e recomendação de genótipos adaptados e estáveis (CAMARGO-BUITRAGO et al., 2011; GAUCH, 2013).

No melhoramento de plantas, os efeitos ambientais, geram a necessidade de avaliar a adaptabilidade e estabilidade genotípica e a predição em gerações posteriores. A presença da GxE complica este processo e normalmente é expresso como respostas inconsistentes de alguns genótipos em relação a outros, devido à mudança de classificação genotípica, ou como mudanças nas diferenças absolutas entre genótipos sem mudança de classificação (ARAÚJO et al., 2012; GAUCH, 2013).

Para a avaliação da adaptabilidade e estabilidade, dentre as metodologias mais recentes, destaca-se o modelo GGE biplot, proposto por Yan et al. (2000), que considera o efeito principal de genótipo mais a interação genótipo e ambiente, sendo indicado para a identificação de mega-ambientes, seleção de ambientes representativos e discriminativos e indicação de genótipos mais adaptados e estáveis a ambientes específicos (GAUCH et al., 2008; YAN, 2011), possibilitando inferências quanto ao desempenho dos materiais genéticos e ambientes, com facilidade na visualização dos dados (YAN et al., 2000; YAN, 2002; HASSANPANAH, 2010).

Com base nestas informações o objetivo deste trabalho foi avaliar desempenho agrônomico de genótipos de açaizeiros provenientes do município de Anajás, Pará, cultivadas em área experimental em Tomé-Açu, Pará, visando identificar, através de análises gráficas, os genótipos mais responsivos e associados aos níveis existentes de variação ambiental pela metodologia da GGE biplot.

## Material e Métodos

O estudo foi realizado na área experimental da Embrapa Amazônia Oriental localizada no município de Tomé-Açu, no Nordeste paraense, aproximadamente entre as latitudes as 01° 24' 46,14" e 01° 28' 4,11" de latitude sul, e 48° 20' 4,60" e 48° 20' 31,84" de longitude oeste de Greenwich. Possuindo clima quente e úmido, ajustando-se ao tipo climático Ami, da classificação de Köppen, caracterizado como chuvoso, com pequena estação seca, caracterizando-se as precipitações por dois períodos distintos, sendo um de dezembro a maio, com índices pluviométricos superiores a 150 mm mensais, e outro de junho a novembro, com índices quase sempre inferiores a 100 mm mensais. A média anual de precipitação pluviométrica é em torno de 2.300 mm. A umidade relativa do ar na região apresenta pouca oscilação ao longo do ano, variando entre 81% e 89% (valores médios anuais). Da mesma forma, a temperatura do ar também apresenta pequena variação anual, com valores médios em torno de 26 °C, máximas entre 32 °C a 34 °C, e mínimas entre 21 °C e 23 °C (VALENTE et al. 2014). Os dados climáticos existentes nos anos de avaliação são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Dados climatológicos da região de Tomé-Açu nos quatro anos das avaliações em 30 progênies de açaizeiros. Anajás, PA. / **Table 1.** Climatological data of the region of Tomé-Açu in four years of evaluations in 30 assai palm progenies. Anajás, PA.

	2009	2010	2011	2012
<b>Umidade Relativa (%)</b>	80,0	80,0	83,0	79,0
<b>Precipitação Total (mm.ano<sup>-1</sup>)</b>	2813,2	2226,8	3095,0	1794,8
<b>Temperatura Média (°C)</b>	26,1	26,5	26,0	26,2

Fonte: CEPLAC (2017)

As progênies avaliadas são oriundas de sementes de matrizes nativas de polinização aberta do município de Anajás, PA, com produção de frutos em período de entressafra da espécie no estado, ou seja, no primeiro semestre. O teste de progênies foi estabelecido na área experimental em março de 2005, usando o delineamento experimental de blocos casualizados, com

trinta tratamentos (progênies), três repetições e cinco plantas por parcela no espaçamento de 6 m x 4 m, além de uma bordadura externa ao experimento.

As características realizadas entre quatro anos, sendo de 2009 a 2012 foram: peso total de frutos (PTF), em gramas; peso total de cachos (PTC), em gramas e; número total de cachos (NTC).

A análise de variância foi realizada com base nas médias das parcelas para verificar a presença ou não de diferenças estatísticas significativas entre as progênies para as diferentes características, cujo procedimento estatístico adotado foi o proposto por Cruz et al. (2012).

O modelo estatístico empregado foi:  $Y_{ijk} = m + G_i + A_j + B_k + GA_{ij} + e_{ijk}$ ; em que:  $Y_{ijk}$  é o valor fenotípico médio do caráter Y medido na progênie i, no ano j e bloco k; m é a média geral dos dados em estudo;  $G_i$  é o efeito da i-ésima progênie, aleatória;  $A_j$  é o efeito do j-ésimo ano;  $B_k$  é o efeito do k-ésimo bloco;  $GA_{ij}$  é o efeito da interação entre a i-ésima progênie com o j-ésimo ano e;  $e_{ijk}$  é o erro médio associado à observação  $Y_{ijk}$ , aleatório.

O método GGE Biplot, que considera o efeito do genótipo (progênie) e da interação entre genótipos e ambientes, aqui considerados ao anos (YAN et al., 2000). Neste método, apenas o efeito principal de genótipo e da GxE são importantes, devendo ser considerados concomitantemente. Considera-se que o efeito principal do ambiente não é relevante na seleção de cultivares. 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 progênie no j-ésimo ano;  $\bar{y}_j$  média geral das progênies no ano 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;  $\varepsilon_{i1}$  e  $\varepsilon_{i2}$  são os escores do primeiro e segundo componente principal, respectivamente, da i-ésima progênie;  $\rho_{j1}$  e  $\rho_{j2}$  são os escores do primeiro e segundo componente principal, respectivamente, para o j-ésimo ano;  $\varepsilon_{ij}$  é o erro do modelo associado com a i-ésima progênies e j-ésimo ano (YAN; KANG, 2003).

Foi calculada a "relação de informação (IR)" proposto por Yan e Tinker (2006) para avaliar a adequação do biplot em exibir os padrões de uma tabela de dupla entrada. A interpretação é: um PC com  $IR \geq 1$  contém padrões (associações entre ambientes), um PC  $\approx 1$  não contém padrões, mas pode conter alguma informação independente e, um PC com  $IR < 1$  não contém qualquer padrão ou informação. O biplot de dimensão 2 representa adequadamente os padrões nos dados, se apenas os dois primeiros PCs têm um  $IR \geq 1$ .

Todos os procedimentos foram realizados com software estatístico GENES (CRUZ, 2013) e a análise GGE biplot foi realizada no programa R (R Core Team, 2016).

## Resultados e Discussão

A Tabela 2 apresenta o resumo da análise de variância com os quadrados médios e a significância para o teste F para as características avaliadas. Não foram observadas diferenças significativas entre as progênies avaliadas (G) nas características, indicando a ausência de variabilidade genotípica e com isso a possível inexistência de indivíduos superiores nas características PTC e PTF. A ausência de variabilidade pode ter sido ocasionada pela pré-seleção realizada no momento de coleta das sementes que originaram as plantas instaladas na área experimental, uniformizando-as de forma subjetiva, semelhante para PTC ao citado por Galate et al. (2014) e diferentemente do que foi observado por Oliveira e Fernandes (2001) para PTC e PTF, cujos materiais avaliados apresentaram diferenças. Já em NTC foi observada a presença de diferenças significativas, que representa processo que ocorre no intervalo do ano denominado de safra, podendo produzir quantitativo diferenciado

entre distintos genótipos, que se torna interessante na seleção daqueles que tenham maior quantidade.

Na fonte de variação anos (A), não foram verificadas diferenças significativas, ou seja, na condição experimental oferecida os fatores não controláveis isoladamente foram incapazes de gerar possíveis diferenças de comportamento entre as progênies que pudessem interferir nos valores, entre as diferentes safras, aspecto muito interessante, demonstrando que houve estabilidade ambiental, o que é difícil de ocorrer (CRUZ et al., 2012). Esse comportamento nos quatro anos de avaliações indica que apesar de existirem diferenças entre a umidade relativa, a precipitação total e a temperatura média, as mesmas não foram suficientes para gerar distinção dos anos.

Apesar de haver efeito genotípico para as características e anos, pode-se observar na Tabela 2 que a interação GxA foi significativa em todas as características avaliadas, indicando que os genótipos interagiram de forma diferenciada com as condições ambientais de cada ano.

O coeficiente de variação experimental (CV) foi alto para PTF, NTC e PTC; podem ser considerados altos, havendo, portanto elevada variabilidade entre as diferentes progênies, caracterizada pela alta interação com os fatores ambientais e desta forma indicando menor precisão experimental. Essa grande variabilidade verificada pode ser reflexo do processo de domesticação do açaizeiro encontrar-se em seu início, sendo a espécie ainda praticamente selvagem, com os programas de melhoramento genético conhecendo pouco da sua diversidade e estrutura genética existente e havendo ainda pouca experimentação com seleção efetiva, capaz de gerar a instalação de pomares plantados de açaizeiro com isso sua exploração é basicamente extrativa (HOMMA et al., 2014; TAVARES; HOMMA, 2015; AZÊVEDO et al., 2017, VIEIRA et al., 2018).

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância para três características<sup>a</sup> em 30 progênies de açaizeiros em quatro anos. Anajás, PA. / **Table 2.** Summary of analysis of variance for three characteristics<sup>a</sup> in 30 progenies of assai palm in four years. Anajás, PA.

FV	GL	PTF	PTC	NTC
<b>Blocos</b>	2	110310102,29	360447629,99	32,15
<b>Genótipos (G)</b>	29	75162813,75 <sup>ns</sup>	153418709,32 <sup>ns</sup>	12,76 <sup>**</sup>
<b>Anos (A)</b>	3	5134789466,24 <sup>ns</sup>	7784830599,94 <sup>ns</sup>	653,83 <sup>ns</sup>
<b>G x A</b>	87	20666719,53 <sup>**</sup>	44090616,17 <sup>**</sup>	4,23 <sup>**</sup>
<b>Resíduo</b>	238	29198481,92	54287392,32	6,40
<b>Total</b>	359			
<b>Média</b>		21751,63	28378,74	10,19
<b>CV%</b>		24,84	25,96	24,83

<sup>a</sup>PTF: peso total de frutos, em gramas; PTC: peso total de cachos, em gramas e; NTC: número total de cachos.

<sup>ns</sup> (não significante); \* e \*\* (significante a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F).

As estimativas de  $\sigma^2_{GxA}$  foram negativas, o que indica que os valores reais estão próximos de zero. Por definição, as estimativas de variância são sempre positivas; quando são encontrados valores negativos, pode-se atribuir-lhes o valor zero (SEARLE; GRUBER, 2016), portanto pode-se considerar que não foram observadas variâncias para a interação GxA em todas as características avaliadas (Tabela 3), ou seja, não houve resposta diferenciada dos genótipos frente as variações dos ambientes, tornando as variâncias insignificantes. A estimativa da variância ambiental foi superior a genética em todas as características, demonstrando que a maior parte das manifestações fenotípicas presentes nas plantas devem-se aos efeitos dos anos de avaliações, contudo as respostas das 30 progênies foram similares, comportamento semelhante ao observado por Oliveira e Fernandes (2001), cujos efeitos residuais sempre foram superiores aos genotípicos.

Os coeficientes de determinação com base nas classes apresentadas por Resende (2009) foram considerados como baixos ( $10 < R^2_c < 40$ ), médios ou moderados ( $40 < R^2_c < 70$ ) e

altos ( $R^2_c > 70$ ). Para as características PTF e PTC estes coeficientes foram altos e superiores em relação NTC, que obteve índice médios, indicando que as duas primeiras são mais facilmente transmitidas e reproduzidas em gerações posteriores, nestas condições ambientais e com o mesmo grupo de genótipos. Enquanto que em NTC, também há a possibilidade de existir indivíduos em sua descendência que podem reproduzir valores próximos, contudo com menor precisão (Tabela 3).

Um índice rápido e simples, que serve como indicativo da facilidade em se realizar a seleção e obter resultados, é a relação entre o coeficiente de variação genético e o residual, sendo que valores próximos ou acima da unidade demonstram grande chance em se obter sucesso com uso de estatísticas mais simples e com menores esforços numa área experimental, pois necessita menor número de avaliações. Todas as relações de CVg/CVe foram baixas, com isso há indicativos de que em todas as características aqui avaliadas a seleção necessitará de procedimentos estatísticos mais rigorosos e complexos, da mesma forma Galate et al. (2014) também não obteve valor maior que um em PTC e NTC, relacionado a aspectos do cacho.

**Tabela 3.** Parâmetros genéticos e fenotípicos de três características<sup>a</sup> avaliadas em 30 progênies de açaizeiro. Anajás, PA. / **Table 3.** Phenotypics and genotypics parameter of the three characteristics<sup>a</sup> in 30 progenies of assai palm. Anajás, PA.

Parâmetros <sup>b</sup>	PTF	PTC	NTC
$\sigma^2_{GxA}$	c	c	c
$\sigma^2_R$	29198481,919	54287392,318	6,403
$\sigma^2_G$	4541341,184	9110674,429	0,711
R <sup>2</sup> %	72,50	71,26	66,83
CVg (%)	9,80	10,64	8,27
CVe (%)	24,85	25,97	24,82
CVg/CVe	0,39	0,41	0,33

<sup>a</sup>PTF: peso total de frutos, em gramas; PTC: peso total de cachos, em gramas e; NTC: número total de cachos.

<sup>b</sup> $\sigma^2_{GxA}$ : variância fenotípica com base em média de amostras do cacho;  $\sigma^2_R$ : variância ambiental com base em média de amostras do cacho;  $\sigma^2_G$ : variância genotípica com base em média de amostras do cacho; H<sup>2</sup> (%): herdabilidade no sentido amplo em porcentagem; CVg(%): coeficiente de variação genotípica em porcentagem; CVe (%): coeficiente de variação ambiental em porcentagem; CVg/CVe: relação entre coeficiente de variação genotípica pelo coeficiente de variação ambiental.

<sup>c</sup> estimativas negativas de variância, conforme Searle e Gruber (2016) pode-se atribuir-lhes o valor zero.

### GGE biplot para análise de dados MET (Multi Ambientes)

Baseado na relação de informação (IR) dos quatro componentes (Tabela 4), para as características PTC e NTC apenas o primeiro PC contém padrão (IR1 acima de 1 e IR2 menor que 1). Já para PTF o primeiro eixo contém padrão (IR acima de 1) e o segundo não (IR próximo de 1), contudo pode conter alguma informação independente. Portanto, nestas características, o biplot é considerado suficiente para representar os padrões dos dados conforme padrão citado por Yan e Tinker (2006).

Os GGE biplot com base neste conjunto de dados são apresentados nas Figuras a seguir, na abscissa do biplot apresentam-se os escores de PC1 e no eixo da ordenada os escores do PC2, dos genótipos e ambientes. O percentual acumulado foi superior a 80% nas características estudadas, nos dois primeiros eixos, inferindo elevada confiabilidade na explicação da variação total do desempenho do genótipo, mais a interação com o ambiente (G+GxA) com o modelo AMMI2, adequado ao proposto por Gauch (1988) e Gauch e Zobel (1996). Contudo devido ao sistema de cruzamentos eminentemente alógama e estar em início do processo de domesticação, sofrendo, portanto grande influência de fatores ambientais, o valor aqui obtido foi inferior, em comparação com produção de frutos frescos de pimenteiros (ABU et al., 2011); peso médio por fruto e número de frutos por planta de melão (DEGHANI et al., 2012); número de amêndoas, produtividade e peso de amêndoas em cajueiros (ALIYU et al., 2014) e; produtividade em genótipos de mandioca (PEPRAH et al., 2016), cujos resultados foram superiores a 89%.

**Tabela 4.** Valor singular, proporção explicada e relação da informação (IR) dos quatro componentes principais (PCs) para a característica peso total de frutos (PTF), peso total de cachos (PTC) e número total de cachos (NTC) em progênies de açaizeiro. Anajás, PA. / **Table 4.** Singular value, explained proportion and relation of the information (IR) from four principal components (PCs) for the characteristic total fruit weight (PTF), total weight of the bunches (PTC) and total number of clusters (NTC) in assai palm progenies. Anajás, PA.

Parâmetros	Eixos Componentes				
	PC1	PC2	PC3	PC4	
PTF	Valor Singular	28475,87	17440,16	12445,66	7481,97
	Varição Explicada (%)	61,16	22,94	11,68	4,22
	IR	2,45	0,92	0,47	0,17
PTC	Valor Singular	42376,78	22802,70	18733,44	9745,71
	Varição Explicada (%)	65,03	18,83	12,71	3,43
	IR	2,60	0,75	0,51	0,14
NTC	Valor Singular	12,50	6,15	5,77	4,34
	Varição Explicada (%)	63,50	15,36	13,50	7,64
	IR	2,54	0,61	0,54	0,31

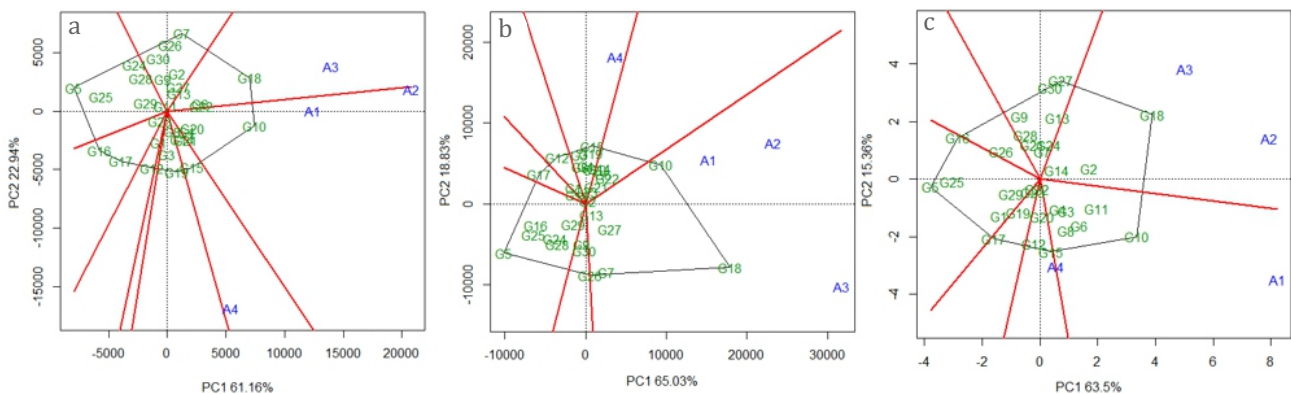
### Análise de mega-ambiente

A Figura 1 (“which-won-where”) de dados multi ambientes permite o agrupamento dos materiais genéticos e visualizar o(s) superior(es) e em qual ou quais ambientes, tendo importância para estudar a possível existência de mega-ambientes diferentes em uma região. Os genótipos localizados nos vértices para cada setor são aqueles que tiveram os melhores desempenhos para os ambientes que foram incluídos dentro desse setor. Os 30 genótipos foram identificados de G1 a G30 e os quatro ambientes como A1 a A4.

Os vértices do polígono foram formados para PTF pelos genótipos: G5, G7, G18, G10, G15, G19, G17 e G16. Fazendo que os quatro ambientes sejam cortados pelas linhas que saíram

da origem do biplot em três grupos, (i) contendo A3; (ii) contendo A1 e A2 e; (iii) contendo A4, sugerindo a existência de três mega-ambientes. Já para PTC os vértices foram: G5, G17, G12, G15, G10, G18 e G26, com a divisão dos ambientes em dois grupos, com (i) formado por A1, A2 e A3 e; o A4 composto (ii), sugerindo apenas dois mega-ambientes. Já para NTC os genótipos que compuseram os vértices foram: G5, G16, G27, G18, G10, G15 e G17. Houve a formação de dois grupos, o grupo (i) foi composto pelos ambientes A1 e A4 e; (ii) por A2 e A3; contudo o ambiente A4 ficou exatamente sobre uma das linhas, podendo-se considerar três grupos, se A4 pertencer ao vértice do genótipo G15, sendo (i) composto por A1; (ii) contendo A2 e A3 e; (iii) com A4, com esta segunda classificação a ser adotada.

A divisão em três mega ambientes para PTF e NTC foi superior, enquanto que para PTC foi semelhante, ao observado em pimenteiros por três anos por Abu et al. (2011); para produção de frutos de pêssego também em três anos (CITADIN et al., 2014); em número de amêndoas por planta, produtividade e peso em cajueiros, observando-se distribuição equitativa de genótipos nestes mega ambientes, com os vértices (genótipos) do polígono próximos dos ambientes. Com a existência de genótipos que não se enquadraram em nenhum mega ambiente. (ALIYU et al., 2014). Em morango para produtividade já houve um comportamento distinto em que cada local compôs um mega ambiente (COSTA et al., 2016), assim como em mandioca (PEPRAH et al., 2016).



**Figura 1.** O GGE Biplot (“Which-won-where”) para os dados das características peso total de frutos (a), peso total de cachos (b) e número total de cachos (c) em progênies de açaizeiro. Anajás, PA. / **Figure 1.** GGE Biplot (“Which-won-where”) to data from the characteristic total fruit weight (PTF), total weight of the bunches (PTC) and total number of clusters (NTC) in assai palm progenies. Anajás, PA.

O genótipo G10, para a característica PTF é o vértice do setor em que os ambientes A1 e A2 estão situados, portanto, é o genótipo que teve melhor desempenho nestes ambientes; para o ambiente A4 o genótipo 15 foi o vértice e no ambiente A3 foi o G18. (Figura 1a). Já os genótipos G10 e G18 são os vértices do setor em que os ambientes A1, A2 e A3 estão situados para PTC, sendo G10 mais próximo dos ambientes A1 e A2 e, G18 de A3; para A4 o genótipo G15 foi o que teve melhor desempenho médio (Figura 1b). Enquanto que para NTC o genótipo G18 é o vértice do setor em que os ambientes A2 e A3 estão situados; enquanto que para o ambiente A1 foi o genótipo G10 e para o ambiente A4 foi o genótipo G15. Estes genótipos mais próximos dos vértices são os que apresentaram melhores desempenhos nestes ambientes. Notando-se que o G10 e G18 nas três características se destacaram em algum ambiente.

Não há proximidade de ambientes nos setores definidos pelos materiais genéticos G5, G7, G19, G17 e G16 para PTF, assim como para os genótipos G5, G17, G12 e G26 na característica PTC e; G5, G16, G27 e G17 para NTC, significando que foram os de pior desempenho em todos os ambientes.

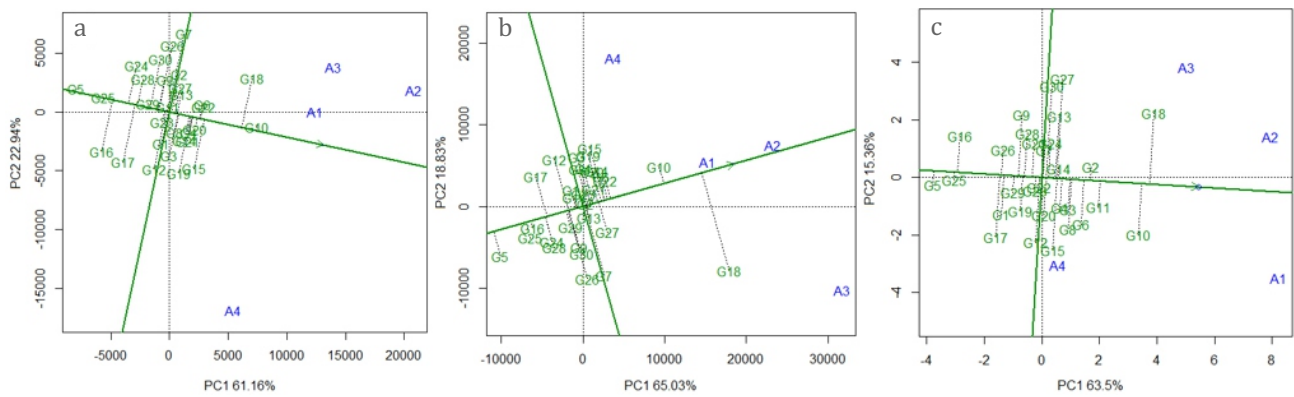
Essa dispersão de genótipos estáveis, adaptados especificamente a determinados ambientes ou épocas e, também daqueles que não possuem estabilidade e nem adaptabilidade foi similar ao observado em outras espécies como em pimenteira

(ABU et al., 2011), cajueiro (ALIYU et al., 2014), pêssego (CITADIN et al., 2014), morangueiro (COSTA et al., 2016) e mandioca (PEPRAH et al., 2016).

### Avaliação de genótipos baseada em GGE biplot

Um “ideótipo” é uma forma ideal de planta ou genótipo para determinado ambiente, representando o objetivo almejado, pois apresenta alto desempenho médio e alta estabilidade nos mega-ambientes. A visualização do GGE biplot “Média versus Estabilidade” é uma ferramenta eficaz para a avaliação de genótipos em ambos os aspectos (YAN et al. 2007; YAN, 2011) e identificar aqueles que possam se aproximar do ideótipo.

Denomina-se “eixo do ambiente- média” ou EAM a linha reta com uma única seta que passa pela origem do biplot e do ambiente média, sendo que o ponto exato apontado pela extremidade desta seta nas Figuras 2a, 2b e 2c, representa o “ambiente-média” e é definido pelas coordenadas médias de todos os ambientes, sendo que após, aponta para um maior desempenho médio entre os genótipos avaliados. A linha que passa pela origem do biplot e é perpendicular ao EAM, indica que quanto maior a distância da origem maior a variabilidade de desempenho (menor estabilidade) em ambas as direções (YAN, 2002; YAN, 2011).



**Figura 2.** O GGE Biplot ("Média versus Estabilidade") com eixo do ambiente-média (EAM) para mostrar o desempenho médio e estabilidade dos genótipos para as características peso total de frutos (a), peso total de cachos (b) e número total de cachos (c) em progênies de açazeiro. Anajás, PA. / **Figure 2.** The GGE biplot ("Mean vs. Stability") with the average-environment (EAM) to show the average performance and stability of the genotypes to the characteristics total fruit weight (PTF), total weight of the bunches (PTC) and total number of clusters (NTC) in assai palm progenies. Anajás, PA.

Assim, os genótipos foram classificados da seguinte forma para PTF: G10 > G18 > G15 > G22 > G6 > ... > média geral > ... G17 > G16 > G25 > G5; para PTC a classificação foi: G18 > G10 > G22 > G14 > G15 > G19 > ... > média geral > ... > G17 > G28 > G24 > G16 > G25 > G5. A classificação para NTC foi: G18 > G10 > G11 > G2 > G6 > ... > média geral > ... > G26 > G17 > G16 > G25 > G5. Baseado nas três características avaliadas tem-se como destaques com desempenho acima da média geral, o genótipo G10, que apresentou também estabilidade e G18, apesar de sua baixa estabilidade.

Quanto a estabilidade os genótipos G6 e G22 foram os mais estáveis apesar de apresentarem valores de PTF pouco acima da média, seguido por G10. Para PTC o material genético G2 foi o mais estável, mas produzindo semelhante à média geral. Os genótipos G2 e G14 estiveram pouco acima da média para NTC e foram os mais estáveis nesta característica.

O genótipo G15 para PTF também se destacou no ambiente A4, contudo foi muito instável; entre todos os avaliados o G7 foi o genótipo mais instável em PTF. Para PTC o material genético de menor estabilidade foi G18 ao apresentar maior distância da reta EAM, contudo foi o genótipo com melhor desempenho (Figura 2b). Na característica NTC o genótipo G27 foi o de menor estabilidade (Figura 2c).

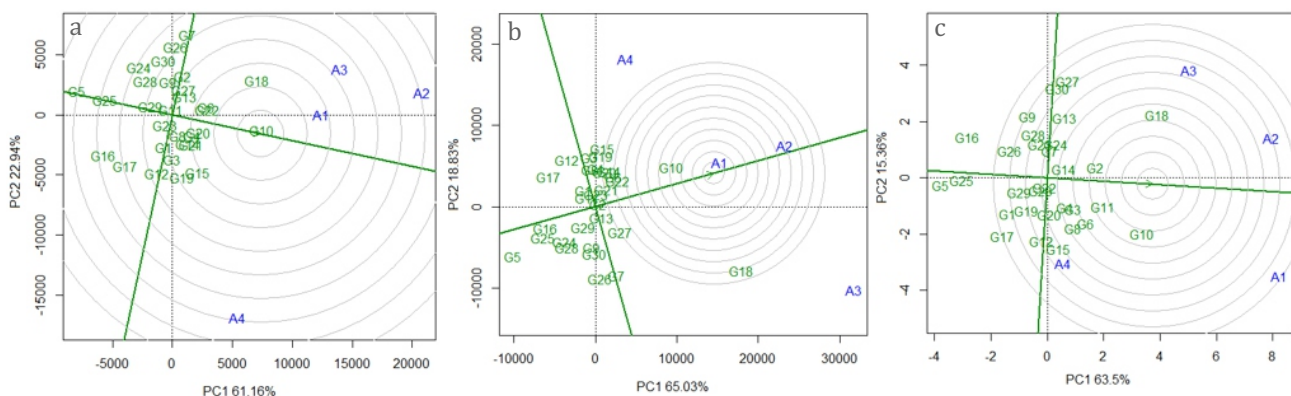
Com exceção do G10 em PTF e PTC, os demais genótipos apresentaram comportamento semelhante ao citado para o número, peso e produtividade de amêndoas em cajueiro por planta, em que todos os materiais mais produtivos foram os mais instáveis, como ocorreu no trabalho de Aliyu et al. (2014). Também a dispersão foi semelhante para PTF e PTC, enquanto para NTC, cujas médias não se concentraram próximo da média geral foi similar ao observado em morangueiro por Costa et al. (2016) e em mandioca por Peprah et al. (2016). Havendo também a contribuição positiva de todos os ambientes em mandioca (PEPRAH et al., 2016), e aqui também para as

progênies de açazeiro.

As Figuras 3a, 3b e 3c ilustram um conceito importante em relação à estabilidade, o termo "estabilidade elevada" só tem sentido quando associado ao desempenho médio; o genótipo estável é desejado apenas quando apresenta alta performance média (YAN; TINKER, 2006; YAN, 2011), com isso um ideótipo é representado pelos genótipos que estão sobre o centro dos círculos concêntrico ou próximos no eixo EAM, no sentido positivo e tem um comprimento do vetor igual aos vetores mais longos dos genótipos sobre o lado positivo do EAM, isto é, mais alto desempenho. Portanto, os genótipos localizados mais próximos do centro dos círculos concêntricos são mais desejáveis do que aqueles que estão mais distantes.

Para a característica PTF, o genótipo identificado como G10, esteve situado mais próximo do ideal neste conjunto de dados, em seguida, os melhores foram G18, G6 e G22 (Figura 3a), sendo estes dois últimos também interessantes pela sua estabilidade, mas não foram os superiores para PTF, significando apenas que o desempenho relativo destes foi consistente, estando longe de ser um dos genótipos ideais. Para PTC o melhor genótipo foi G10, seguido por G14, G18 e G22 (Figura 3b), o primeiro e o terceiro foram mais desejáveis que G18, por apresentarem alta estabilidade. Para NTC os mais próximos do ideótipo foram G10, G11, G2 e G18 (Figura 3c), onde os mais desejáveis foram os materiais genéticos G10 e G11. Os genótipos G14 e G22 para NTC são altamente estáveis, mas apesar do desempenho relativo destes terem sido consistentes, estão longe de ser um dos genótipos ideais, assim como os genótipos G2, G13, G21, G22 e G23 para PTC. Desta forma não houve a presença de genótipo que possa representar o ideótipo.

Os piores genótipos para recomendação na característica PTF foram G5, G25, G16, G17 e G24; para PTC foram G17, G28, G24, G16, G25 e G5, enquanto que para NTC foram os genótipos G17, G16, G25 e G5. (Figura 2 e 3).



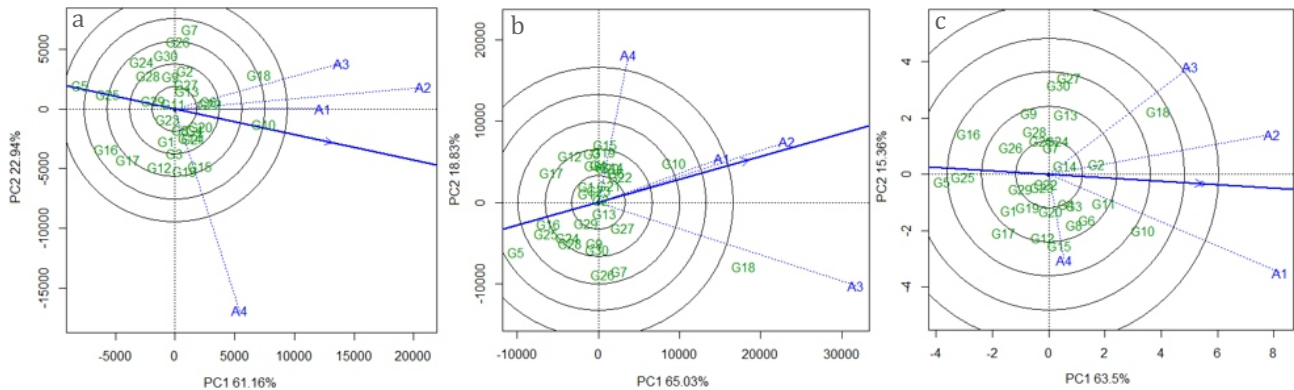
**Figura 3.** O GGE Biplot com eixo do ambiente-média (EAM) para classificar os genótipos em relação ao ideótipo (no centro dos círculos concêntricos) para as características peso total de frutos (a), peso total de cachos (b) e número total de cachos (c) em progênies de açazeiro. Anajás, PA. / **Figure 3.** GGE biplot with axis of the environment-average (EAM) for classification of genotypes in relation to the ideotype (in the center of the concentric circles) to the characteristics total fruit weight (PTF), total weight of the bunches (PTC) and total number of clusters (NTC) in assai palm progenies. Anajás, PA.

### Avaliação do ambiente de teste

O objetivo da avaliação do ambiente de teste é identificar aqui neste caso os anos que podem ser utilizados para selecionar genótipos superiores de forma eficaz para um mega-ambiente. Este ano deve ser capaz de permitir a discriminação dos genótipos. A visualização no GGE biplot (Figura 4a, 4b e 4c) foi projetada com esta finalidade.

Os anos que possuem vetores mais longos são mais discriminantes em relação aos genótipos. Aqueles anos com vetores curtos são menos discriminantes, o que significa que todos os genótipos se tornam semelhantes, portanto, não devem ser utilizados como ano de teste (HONGYU et al., 2015). Os anos A2, A3 e A4, para a característica PTF, apresentaram vetores longos, superior ao dos genótipos, sendo, portanto, mais discrimi-

minantes e permitindo diferenciar o comportamento dos diferentes materiais genéticos (Figura 4a). Já para PTC, os mais discriminantes foram os anos A2 e A3. (Figura 4b), podendo-se considerar os anos A1 e A4 também como discriminantes, com exceção em relação ao genótipo G18 apenas. Para NTC os anos A1, A2 e A3, foram mais discriminantes (Figura 4c). De interpretação paralela similar, Peprah et al. (2016) observou o mesmo comportamento em produtividade de mandioca, com ambientes possuindo vetores mais longos que a maioria dos genótipos e um material genético com vetor superior ao dos ambientes, já para número, peso e produtividade de amêndoas por planta em cajueiro, somente os ambientes, com vetores maiores, foram discriminantes (ALIYU et al., 2014), não existindo genótipo mais discriminante que ambientes.



**Figura 4.** O GGE Biplot para mostrar a capacidade de discriminação e representatividade dos anos de teste nas características peso total de frutos (a), peso total de cachos (b) e número total de cachos (c) em progênies de açaizeiro. Anajás, PA. / **Figure 4.** GGE biplot of the discriminatory capacity and representativeness of years test on the characteristics total fruit weight (PTF), total weight of the bunches (PTC) and total number of clusters (NTC) in assai palm progenies. Anajás, PA.

Uma segunda utilidade da Figura 4 é indicar qual(is) ano(s) anos podem representar os demais. Os ambientes de teste para PTF (Figura 4a), PTC (Figura 4b) e NTC (Figura 4c), identificados como A1 e A2, que tiveram os menores ângulos com EAM (eixo do ambiente-média), são anos que representaram as médias de todos os anos. Os demais anos podem ser considerados discriminantes, contudo não são representativos, tendo utilidade para a seleção de genótipos adaptados especificamente em mega-ambientes (Figura 4a, 4b e 4c. Assim da mesma forma em cajueiros ocorreram os ambientes mais e menos representativos (ALIYU et al., 2014).

### Conclusões

Para cada característica, genótipos distintos se destacaram pela estabilidade ou adaptabilidade associado ao valor médio para a característica avaliada, com destaque ao genótipo G10 para PTC e PTF e NTC, se aproximando do ideótipo desejado e G18, que apesar de valor médio superior, apresentou baixa estabilidade.

Os genótipos com maiores valores médios para a característica têm menor estabilidade na maioria dos casos, excetuando-se G10 em PTC e PTF.

Os GGE biplot dispõem os genótipos de forma que é possível se realizar a escolha dos superiores e mostram o inter-relacionamento destes com os efeitos de anos, devendo buscar a combinação daqueles com melhores valores médios e com maior estabilidade possível.

A análise gráfica do método GGE Biplot permite verificar que o ano que melhor discrimina os genótipos é identificado como A3 para PTC; A2 para PTF e; A1 para NTC. Para a representatividade média têm-se os anos A1 e A2 para PTC; A1 para PTF; enquanto que é o A2 para NTC.

### Referências Bibliográficas

ABU, N. E.; UGURU, M. I.; OBI, I. U. Genotype by trait relations of yield and yield components in aromatic peppers (*Capsicum annum*) based on GT biplot. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, v. 3, n. 14, p. 382-390, 2011.

- ALIYU, O. M.; ADEIGBE, O. O.; LAWAL, O. O. Phenotypic stability analysis of yield components in Cashew (*Anacardium occidentale* L.) using additive main effect and multiplicative interaction (AMMI) and GGE biplot analyses. *Plant Breeding Biotechnology*, v. 2, n. 4, p. 354-369, 2014.
- ALWALA, S.; KWOLEKB, T.; MCPHERSON, M.; PELLOWC, J.; MEYERA, D. A comprehensive comparison between Eberhart and Russell joint regression and GGE biplot analyses to identify stable and high yielding maize hybrids. *Field Crops Research*, v. 119, n. 2, p. 225-230, 2010.
- ARAÚJO, M. F. C.; ARAÚJO, L. B.; FARIA, P. N.; DIAS, C. T. S. Statistical test for genotype and environment contribution in the genotype and environment contribution in the genotypes  $\times$  environments interaction matrix. *Interciência*, v. 37, n. 7, p. 515-519, 2012.
- AZÉVEDO, H. S. F. S.; BENVINDO, F. D.; CAVALCANTE, L. N.; HAVERROTH, M.; WADT, L. H. O.; CAMPOS, T. Transferability of heterologous microsatellite loci between species of *Euterpe* genus. *Genetics and Molecular Research*, v. 16, n. 4, p. 1-7, 2017.
- CAMARGO-BUITRAGO, I.; INTIRE, E. Q. M.; GORDÓN-MENDOZA, R. Identificación de mega-ambientes para potenciar el uso de genótipos superiores de arroz em Panamá. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 9, p. 1601-1069, 2011.
- CITADIN, I.; SCARIOTTO, S.; SACHET, M. R.; ROSA, F. J.; RASEIRA, M. C. B.; WAGNER JÚNIOR, A. Adaptability and stability of fruit set and production of peach trees in a subtropical climate. *Scientia Agricola*, v. 71, n. 2, p. 133-138, 2014.
- COSTA, A. F.; TEODORO, P. E.; BHERING, L. L.; LEAL, N. R.; TARDIN, F. D.; DAHER, R. F. Biplot analysis of strawberry genotypes recommended for the State of Espírito Santo. *Genetics and Molecular Research*, v. 15, n. 3, p. 1-9, 2016.
- CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum*, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa, MG: UFV, 2012, v.1, 514p.
- DEGHANI, H.; FEYZIAN, E.; JALALI, M.; REZAI, A.; DANE, F. Use of GGE biplot methodology for genetic analysis of yield and related traits in melon (*Cucumis melo* L.). *Canadian Journal of Plant Science*, v. 92, n. 1, p. 77-85, 2012.
- DIMENSTEIN, L.; FARIAS NETO, J. T. Dados preliminares para a produção de frutos em açaizeiros sob irrigação em terra firme no Estado do Pará. In: DIMENSTEIN, L.; FARIAS NETO, J. T. *Irrigação e fertirrigação em fruteiras*. Fortaleza: Instituto Frutal, 2008. p.139-144.
- FARIAS NETO, J. T.; MÜLLER, A. A.; OLIVEIRA, M. S. P.; ESPÍRITO SANTO, D. E.; SILVA, M. A. Variabilidade genética entre duas procedências de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Martus). *Boletim de Pesquisa Florestal*, v. 46, p. 97-104, 2003.

- FARIAS NETO, J. T.; RESENDE, M. D. V.; OLIVEIRA, M. S. P. Seleção simultânea em progênies de açaizeiro irrigado para produção e peso do fruto. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 2, p. 532-539, 2011.
- GALATE, R. S.; MOTA, M. G. DA C.; GAIA, J. M. D.; COSTA, M. DO S. S. Distância fenotípica entre matrizes de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) procedentes do nordeste do Pará. **Semina Ciências Agrárias**, v. 35, n. 4, p. 1667-1682, 2014.
- GAUCH, H. G. A Simple Protocol for AMMI Analysis of Yield Trials. **Crop Science**, v. 53, n. 5, p. 1860-1869, 2013.
- GAUCH, H. G. Model selection and validation for yield trials with interaction. **Biometrics**, v. 44, p. 705-715, 1988.
- GAUCH, H. G.; PIEPHO, H. P.; ANNICCHIARICO, P. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE: Further considerations. **Crop Science**, v. 48, n. 3, p. 866-889, 2008.
- GAUCH, H. G.; ZOBEL, R. W. **AMMI analysis of yield trials**. In: KANG, M. S.; GAUCH, H. G. (Ed.). *Genotype by environment interaction*. Boca Raton: CRC Press, 1996. v. 4, p. 85-122.
- HASSANPANAH, D. Analysis of GxE interaction by using the additive main effects and multiplicative interaction in potato cultivars. **International Journal of Plant Breeding and Genetics**, v. 4, p. 23-29, 2010.
- HOMMA, A. K. O.; BARROS, A. V. L. de.; MENEZES, A. J. E. A. de.; CONTO, A. J. de.; FERREIRA, C. A. P.; NICOLI, C. M. L.; REBELLO, F. K.; FARIAS NETO, J. T.; CARVALHO, J. E. U. de.; PEROTES, K. F. **Extrativismo vegetal na Amazônia**. Brasília: Embrapa, 2014. p.133-148.
- 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.
- IBGE **Produção Agrícola Municipal – PAM, 2018**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613>>. Acesso em: 13 abr. 2020
- MENEZES, E. M. S. **Efeito da alta pressão hidrostática em polpa de açaí pré-congelada (*Euterpe oleracea*, Mart.)**. Dissertação de Mestrado (Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2005; 83p.
- OHASHI, S. T.; KAGEYAMA, P. Y. Variabilidade genética entre populações de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) do estuário amazônico. In: Mourão L, Jardim MA & Grossmann M (eds). **Açaí: possibilidade e limites em processos de desenvolvimento sustentável no estuário amazônico**. Belém, CEJUP. p. 11-26. 2004.
- OLIVEIRA, M. S. P. de; FERNANDES, G. L. C. Repetibilidade de caracteres do cacho de açaizeiro nas condições de Belém, PA. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 23, p. 613-616, 2001.
- PEPRAH, B. B.; AGYEMAN, A.; PARKES, E.; KWADWO, O.; ISSAC, A. K.; EMMANUEL, O.; LABUSCHAGNE, M. T. Stability, agronomic performance and genetic variability of 10 cassava genotypes in Ghana. **Journal of Plant Breeding and Crop Science**, v. 8, n. 9, p. 157-167, 2016.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2016. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 17 jul 2020.
- TAVARES, G. S.; HOMMA, A. K. O. Comercialização do açaí no estado do Pará: alguns comentários. **Observatorio de la Economía Latinoamericana - Revista Eumednet**. 2015, 13p.
- VALENTE, M. A.; WATRIN, O. dos S.; CASTRO, A. R. da C. **Mapeamento Detalhado dos Solos da Fazenda Experimental da Embrapa Amazônia Oriental em Tomé-Açu, PA**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 33 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 405).
- VIEIRA, A. H.; RAMALHO, A. R.; ROSA NETO, C.; CARARO, D. C.; COSTA, J. N. M.; VIEIRA JÚNIOR, J. R. **Cultivo do Açaizeiro (*Euterpe oleracea* Martius) no Noroeste do Brasil**. Embrapa Rondônia, 2018. 89p. (Sistemas de produção/ Embrapa Rondônia, 36).
- 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 biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. **Crop Science**, v. 47, n. 2, p. 643-653, 2007.
- 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.