

## Comportamento mensal em progênies de açaizeiro pelo uso combinado de Dendrograma e AMMI

### Monthly behavior in progenies of açai for combined use of dendrogram and AMMI

Gilberto Ken Iti Yokomizo<sup>1\*</sup>, Francisco de Oliveira Cruz Júnior<sup>2</sup>, Kuang Hongyu<sup>3</sup>, João Tomé de Farias Neto<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Doutor, Genética e Melhoramento de Plantas, Embrapa Amapá, Rod JK, 2600, Universidade, CEP 68.903-419, Macapá-AP, Brasil. Email: gilberto.yokomizo@embrapa.br

<sup>2</sup> Mestre, Biodiversidade Tropical. IEPA (Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Amapá), Rod JK, km 10, Fazendinha, CEP 68.903-419, Macapá-AP, Brasil. Email: junior20\_oliveira@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Doutor, Estatística e Experimentação, Universidade Federal do Mato Grosso, Departamento de Estatística, Avenida Fernando Corrêa da Costa, 2367, Boa Esperança, CEP 78.060-900, Cuiabá, MT, Brasil. Email: kuang\_hongyu@hotmail.com

<sup>4</sup> Doutor, Genética e Melhoramento de Plantas, Embrapa Amazônia Oriental, Tv. Dr. Eneas Pinheiro, s/n, Marco, CEP 66.095-903, Belém-PA, Brasil. Email: joao.farias@embrapa.br

\* Autor correspondente

#### Palavras-chave

*Euterpe oleracea*  
Melhoramento genético  
Interação genótipo x ambiente  
Análise de componentes principais

O consumo da polpa de açaí amplia-se mundialmente, pressionando para que a pesquisa relacionada à seleção de materiais genéticos promissores possa atender esta demanda. Mas o comportamento sazonal da produção é pouco divulgado e o número de progênies nas pesquisas dificulta a interpretação das análises gráficas, portanto o objetivo deste trabalho foi combinar análise multivariada, agrupamento por dendrograma para posterior análise AMMI nos diferentes meses, para compreender o comportamento das progênies durante o ano. As progênies foram instaladas em delineamento experimental de blocos ao acaso, duas repetições e cinco plantas por parcela. Foram avaliados: FF - cachos com frutos verdes em formação; FM - cachos com frutos maduros e; TM - tamanho do cacho. Como conclusões tem-se que a combinação entre multivariada, agrupamento pelo dendrograma e análise AMMI mostram-se necessárias e eficientes num quantitativo grande de progênies para interpretação gráfica da análise de estabilidade e adaptabilidade; a variabilidade genética observada e presente é fundamental para a continuidade do melhoramento genético da espécie; as progênies com maior destaque foram P4, P8 e P30, somando-se com o modelo AMMI2 a progênie P29. Expandindo-se com o retorno ao dendrograma para as progênies P51, P53 e P55; entre a metade final do período chuvoso (março) até a metade inicial do período de estiagem (agosto) existe a melhor contribuição de fatores para as médias das progênies.

#### Keywords

*Euterpe oleracea*  
Genetic breeding  
Genotype x environment  
interaction  
Principal component analysis

The consumption of açai pulp is expanding worldwide, pressing for research related to the selection of promising genetic materials to meet this demand. However, the seasonal behavior of the production is little publicized and the number of progenies in the research makes it difficult to interpret the graphic analyzes, so the objective of this work was to combine multivariate analysis, grouping by dendrogram for later AMMI analysis in the different months, to understand the behavior of the progenies during the year. The progenies were installed in a randomized block design, two replicates and five plants per plot. The following were evaluated: FF - bunches with green fruits in formation; FM - bunches with ripe fruits and; TM - cluster size. As conclusions we have that the combination between multivariate, grouping by the dendrogram and AMMI analysis are necessary and efficient in a large number of progenies for graphical interpretation of the stability and adaptability analysis; the genetic variability observed and present is fundamental for the continuity of the genetic improvement of the species; the most prominent progenies were P4, P8 and P30, adding the P29 progeny to the AMMI2 model. Expanding with the return to the dendrogram for progenies P51, P53 and P55; between the final half of the rainy period (March) until the initial half of the drought period (August) there is the best contribution of factors to the progeny averages.

## INTRODUÇÃO

O açaizeiro pertence a família Arecaceae, sendo uma palmeira que está presente naturalmente na região amazônica, onde tem relevante importância econômica na

fruticultura regional, principalmente no Pará onde o fruto movimentou muito o comércio através de sua produção e consumo da polpa (NEVES et al., 2015). Como o suco da polpa dos frutos, que é o principal produto desta espécie, sendo um símbolo deste Estado (SILVESTRE et al., 2016).

A exploração do açaí possui grande destaque na região amazônica devido ter um elevado potencial agrônomo, tecnológico, nutricional e principalmente econômico (YUYAMA et al., 2011). A cadeia produtiva do açaí é basicamente extrativa, sendo a cultura vegetal com maior contribuição na renda das pessoas que moram na beira dos muitos rios da região, cuja exploração pode ser executada apenas por quatro meses do ano (Junho a Outubro, período da safra) quando há maior disponibilidade de frutos, por ser extrativa as pessoas que exploram este recurso vegetal, tem que buscar atividades complementares com outras atividades para manter renda mensal, mas nem sendo possível sempre e com isso na entressafra uma porcentagem alta da população torna-se ociosa gerando problemas sociais (XIMENES et al., 2020).

O mercado internacional começou a ter interesse pelo açaí após a divulgação das importantes propriedades da polpa de açaí como suplemento vitamínico, poder antioxidante e fonte energética, causando uma busca com crescimento exponencial principalmente no estadunidense. Com isso os EUA importam cerca de 70% do total produzido pelo Brasil, havendo também como importadores a Alemanha, Bélgica e a Holanda, somando-se mais recentemente os Países Baixos, Japão, Austrália, entre diversos outros, atraídos pelas características nutracêuticas deste fruto do estuário amazônico. Um problema conforme cita a CONAB (2020) é a presença de entressafra, cujo no Pará, que é maior produtor brasileiro, com ocorrência no primeiro semestre e, safra concentrada de julho a dezembro, período que traz entrave nas exportações, devido o comércio exigir volume constante e oferta permanente durante o ano inteiro.

Esse movimento exportador tem como efeito a elevação da demanda pelo fruto, sendo que Nogueira et al. (2013) e Nogueira e Santana (2016) citam que este é o principal culpado pelo aumento do preço para o consumidor local, e ocorrendo com maior intensidade na entressafra (janeiro a junho), onde o preço chega a aumentar em quatro vezes, acompanhado pela escassez do produto no mercado local, causando um forte desequilíbrio de mercado, ainda mais que o mercado de açaí é do tipo inelástica a preço, com a oferta tendo menor intensidade proporcionalmente em relação ao preço.

Por causa deste problema no mercado consumidor regional e para conseguir uma resposta a esta demanda pelo fruto e produtos derivados, tem se realizado estudos para o desenvolvimento de técnicas de manejo e produção, conforme cita Coutinho (2017), cujo objetivo é a ampliação do período da safra. O uso da irrigação e adubação em plantios nas áreas de terra firme é uma solução apresentada por Farias Neto et al. (2011), permitindo melhorar a distribuição da safra anual e em contraponto diminuindo a entressafra. Adicionalmente o manejo em terra firme facilita em muito o manejo, porém, a exploração ainda se concentra nas áreas de várzea (GALEÃO, 2017).

O estado do Pará é o maior produtor nacional, concentrando as maiores populações naturais na parte continental e também quantidade de ilhas que são grandes produtoras. Mesmo assim na região nordeste deste Estado

tem se buscado mudanças gradativas quanto à produção, alteando do sistema extrativista com baixa produção por sistemas com melhores índices de produtividade, principalmente usando manejo e irrigação em terra firme (HOMMA et al., 2006; FARIAS NETO et al., 2011).

Como exemplo da adoção de novas tecnologias no sistema de produção, basta verificar que em área de várzea num sistema extrativo tem se baixa produtividade ( $4,2 \text{ t.ha}^{-1}$ ), nestes mesmos locais ao se adotar sistema de manejo ocorre um aumento ( $8,4 \text{ t.ha}^{-1}$ ) e com cultivos irrigados em locais de terra firme tem-se atingindo  $15 \text{ t.ha}^{-1}$ , com perspectiva de aumentos mais expressivos ainda quando apoiadas em novos avanços tecnológicos (SANTOS et al., 2012). Adicionalmente conforme Sousa e Andrade (2018) o açaí quando manejado tem a menor produção em janeiro, com a safra ocorrendo de março a agosto, e com o pico da safra em agosto. A entressafra existente de setembro a outubro. Já quando sem manejo a safra foi de junho a agosto, com pico ocorrendo julho, isso significa que apenas a adoção de manejo já gera distinção de época.

Um comportamento que traz graves complicações para selecionar novos materiais para atender as necessidades dos produtores e do mercado é a presença de efeitos que os fatores ambientais tem sobre o fenótipo manifestado pelos indivíduos. Então, quanto maior a quantidade e variação dos fatores ambientais existe a possibilidade de maior diferenças nas expressões vegetativas e reprodutivas nas plantas. Esse comportamento recebe a denominação de interação genótipos versus ambientes (GxA), dificultando a seleção e recomendação de genótipos que possuam adaptabilidade e estabilidade (CRUZ et al., 2014). Por causa desta interação, os programas de melhoramento genético visam selecionar materiais que possuam ampla adaptação e estabilidade, com possibilidade de recomendação aos mais diversos locais (MALOSETTI et al., 2013).

Entre as diversas metodologias estatísticas para estimar a interação GxA, a denominada de análise AMMI ("Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Model") vem recebendo grande atenção. A análise gráfica AMMI permite interpretar e compreender os padrões distintos de interação pela caracterização eficaz dos fatores genéticos e ambientais existentes e, portanto, estimar melhores estimativas das respostas genotípicas frente aos vários ambientes (DUARTE, 2001). Os resultados geram uma representação simultânea individual de cada indivíduo e ambiente disponibilizando informações referentes a estabilidade e a adaptabilidade de ambos, podendo permitir um zoneamento agrônomo e triagem de locais-chave (LAVORANTI, 2003). Sendo muito utilizado para identificar os genótipos com melhor estabilidade e especificar a significância da interação GxA (KARIMIZADEH et al., 2016)

Mesmo havendo conhecimento da existência da sazonalidade de produção e da necessidade de se encontrar materiais genéticos superiores para elevar a produção de açaí, existem raras informações acerca do comportamento mensal de progênies durante o ano, que englobam a sazonalidade de produção e da entressafra. Desta forma este trabalho tem como objetivo avaliar mensalmente o

desempenho agrônomo de progênies de açaizeiros para identificar aqueles com comportamento promissor, efetuado primeiramente por uma análise multivariada e pré-seleção de progênies por agrupamento pelo dendrograma, pois o número de progênies em estudo inviabiliza a interpretação gráfica obtida do AMMI.

## MATERIAL E MÉTODOS

Essa avaliação se refere ao programa de melhoramento genético de açaizeiro para produção de frutos no estuário amazônico, conduzido em área de várzea no Campo Experimental de Mazagão pertencente a Embrapa Amapá. O solo é do tipo Gley Pouco Húmido de textura média, com

média a alta fertilidade natural pela sedimentação de nutrientes pelo rio Mazagão. A topografia é plana com cobertura vegetal tipo capoeira. O tipo climático é Ami segundo classificação de Köppen, tropical chuvoso, com temperatura média anual de 27°C, do mês mais frio (junho) de 22,7°C e do mais quente (setembro) de 32,8°C. A precipitação total é de 2410 mm, com concentração entre os meses de janeiro e junho, sendo que mais seco (outubro) é de 32 mm e do mais chuvoso (março) de 365 mm. A umidade relativa média do ar é de 85% (CLIMATE-DATA.ORG, 2020). Dados climáticos mensais médios são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Precipitação total mensal (Prec, em mm), médias das temperaturas máximas (TMax, em °C), mínima (TMin, em °C), temperatura média anual (TMed, em °C) em Mazagão, AP, média histórica entre 1980 e 2016.

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Prec	225	275	283	308	250	200	133	67	73	29	46	121
Tmax	31,56	30,31	30,31	30,63	31,56	31,88	32,19	32,81	32,97	33,13	32,81	32,50
Tmin	23,44	23,44	23,75	24,06	24,06	23,85	23,75	24,06	23,97	24,06	24,38	24,31
Tmed	28,26	27,74	27,75	27,94	28,37	28,61	28,54	28,68	28,93	29,03	29,00	28,85

Adaptado de: WEATHERSPARK (2020).

O delineamento experimental adotado na área foi de blocos ao acaso, com duas repetições e a parcela contendo cinco plantas, plantadas no espaçamento de 4 x 5m. O número reduzido de repetições deve-se ao quantitativo de 76 progênies e a área total do experimento. As progênies são oriundas de açaizais nativos presentes da região oeste da Ilha de Marajó (safra de inverno).

As avaliações foram realizadas mês a mês entre os anos de 2009 até 2013 utilizando as características: FF- Formação de Frutos Verdes: contagem de cachos que apresentam formação de frutos verdes por estipe; FM- Formação de Cacho Maduro: contagem de cachos que apresentam cachos maduros por estipe; TM - Tamanho do Cacho: valor atribuído a avaliação visual dos cachos: onde 1 é atribuído aos menores valores, e 7 para os maiores.

No processo de seleção há envolvimento de mais de uma característica, onde em geral nos trabalhos com cunho acadêmico se realiza a interpretação para cada uma de forma separada, dificultando identificar no final qual a progênies superior levando em consideração todas as características, portanto para facilitar a compreensão foi realizada uma análise multivariada, pois o desejado é compreender o desempenho relação a todas as características avaliadas.

Pela quantidade de progênies em avaliação geram-se problemas nas análises gráficas quanto à interpretação dos resultados, plotando-se uma aglomeração que impede distinguir quem se destacou entre os materiais genéticos. Para contornar este problema foi realizado preliminarmente o agrupamento pelo dendrograma, buscando-se selecionar cerca de 50% destas. A redução do quantitativo das progênies permite a análise gráfica AMMI, e posterior vinculação das superiores com as que compuseram os mesmos agrupamentos no dendrograma.

A análise de agrupamento adotou a distância generalizada de Mahalanobis ( $D^2$ ) como medida de dissimilaridade, considerando a correlação entre as características avaliadas, conforme citam Cruz et al. (2014). O dendrograma com base na matriz de dissimilaridade foi estruturado pelo método de UPGMA (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean*) cuja média das distâncias entre todos os pares de itens que formam cada grupo determina a formação do agrupamento.

O seguinte modelo de análise AMMI foi adotado conforme descrito por Duarte e Vencovsky (1999):

$$Y_{ij} = \mu + g_i + a_j + \sum_{k=1}^n \lambda_k \gamma_{ik} \alpha_{jk} + \rho_{ij} + \bar{\epsilon}_{ij}$$

onde:  $Y_{ij}$  é a resposta média das repetições da  $i$ -ésima progênie ( $i = 1, 2, 3, \dots, g$ ) no  $j$ -ésimo mês ( $j = 1, 2, 3, \dots, a$ );  $\mu$  é a média de todas as progênies em meses (média geral);  $g_i$  é o efeito principal da progênie " $i$ ";  $a_j$  é o efeito principal do mês " $j$ ";  $\lambda_k, \gamma_{ik}$  e  $\alpha_{jk}$  são os termos da decomposição singular (DVS) ou da análise de componentes principais (ACP) da matriz  $GE_{g \times a} = \{ (ga)_{ij} \}$ , que expressam e capturam o "padrão" associado à interação da progênie " $i$ " com o mês " $j$ ", sendo  $(ga)_{ij}$  os desvios de aditividade dos dados ( $Y_{ij}$ ) em relação aos efeitos principais  $g_i$  e  $a_j$ ;  $\rho_{ij}$  é o ruído adicional a ser eliminado na análise, relativamente ao termo  $(ga)_{ij}$  tomado tradicionalmente como a própria interação; e  $\bar{\epsilon}_{ij}$  é o erro experimental médio, em nível de médias de repetições, assumido: i.i.d.  $\sim N(0, \sigma^2)$ .

Desta forma, a análise AMMI segue duas etapas sequenciais: 1ª) os efeitos principais, que é a parte aditiva do modelo (média geral, efeitos de progênies e meses), ajustados pela análise de variância (ANOVA), gerando um resíduo de não aditividade:  $(\hat{g}\hat{a})_{ij} = Y_{ij} - \bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{.j} + \bar{Y}_{..}$ , ou seja, nas estimativas de quadrados mínimos ordinários de  $(\hat{g}\hat{a})_{ij}$ ; 2ª) a interação (parte multiplicativa do modelo) é ajustada mediante o DVS ou ACP aplicada à matriz  $GE_{g \times a} = \{(\hat{g}\hat{a})_{ij}\}$ , gerando uma parcela intitulada “padrão” (a interação propriamente dita – interação AMMI), e num outro item denominado de “ruído”, que deve ser descartada juntamente com o resíduo ANOVA.

Apoiado nos critérios utilizados por Gauch e Zobel (1988), que considera a proporção da soma de quadrados da interação original ( $SQ_{G \times A}$ ) acumulada até o n-ésimo eixo, para definir o número de eixos principais a serem retidos, que tenha capacidade de explicar e representar graficamente o padrão relacionado à interação segue a equação:

$$\sum_{k=1}^n \lambda_k^2 / SQ_{G \times A}$$

Dessa forma, o ponto de parada que determina a seleção do modelo na família a ser considerado dentre os modelos

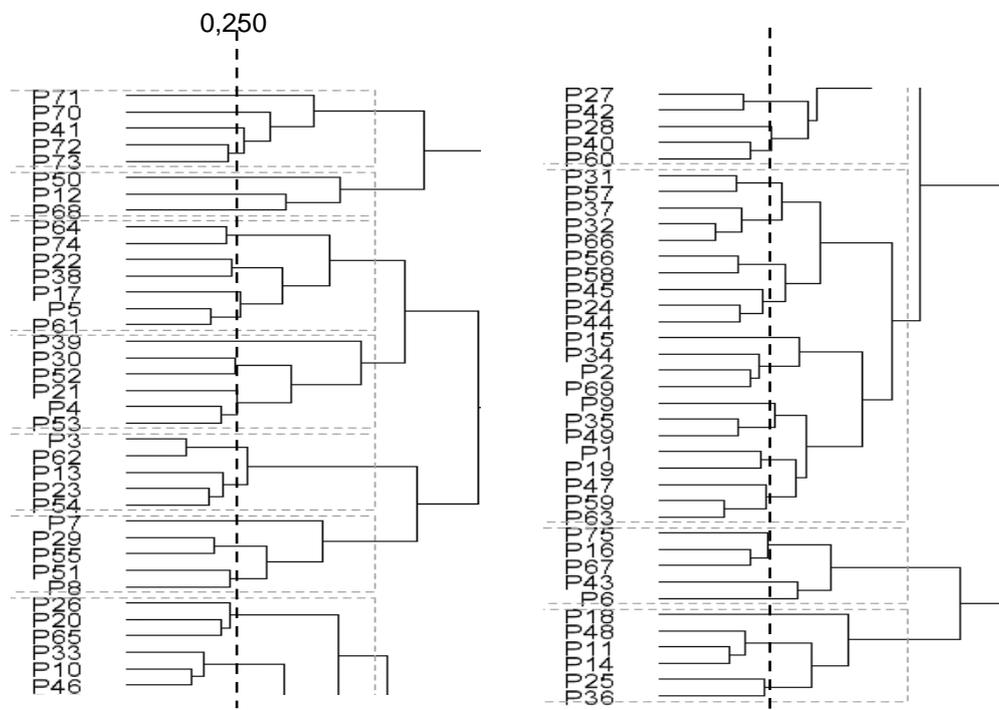
AMMI (AMMI0, AMMI1,..., AMMI $n$ ), tem seu ponto de definição baseado na significância dos testes  $F_{G\text{ollob}}$ , para os sucessivos termos de interação, onde os eixos PC a serem retidos é obtido pela significância de cada componente relacionado ao QM erro médio dos eixos.

Todos os tratamentos estatísticos dos dados e análises foram realizados utilizando-se os procedimentos do programa R versão 3.4.1 (R CORE TEAM, 2020).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As 76 progênies envolvidas na pesquisa impedem a visualização da distribuição e, por conseguinte, a correta interpretação de seus comportamentos nos gráficos AMMI, portanto foi efetuado o agrupamento pelo dendrograma (CRUZ et al., 2014), em que cada agrupamento foi composto por progênies similares, selecionando-se apenas uma destas para o estudo gráfico pelo Biplot AMMI, cujo resultado é correlacionado posteriormente as demais progênies dos agrupamentos. O limite adotado para gerar cada agrupamento foi 0,250 de dissimilaridade, cujos grupos permitiram a escolha de 37 progênies para constituírem o estudo gráfico (Figura 1).

**Figura 1.** Dendrograma pelo método de Ligação Média entre Grupos (UPGMA) entre 76 progênies de açaizeiro com base em três características morfológicas.



O resumo da análise de variância, contendo a fonte de variação intitulada de interação GxA, mostra diferenças significativas entre as progênies e também para a interação genótipos com ambientes, que indica que existem respostas diferenciadas devido aos diferentes efeitos ambientais,

análogo ao observado por Aliyu et al. (2014). Desta forma há manifestação de variabilidade genética e, adicionalmente deve se ressaltar que a fonte de variação relativa aos meses gerou diferenciação quanto à expressão das características (Tabela 1). Esse comportamento segundo Aliyu (2012) se

deve a existência de uma base genética considerável (introduções distintas, nível de domesticação da espécie e melhoramento já realizado) e pela presença de polinização cruzada livre (meios irmãos) gerando variabilidade genética que causa diferentes interações GxA.

Os efeitos que não são passíveis de controle decorrente aos diferentes meses, constituem 32,551% dos efeitos totais, ou seja, um terço do total das variações foram superiores em comparação a variação genética (progênes). Os componentes genéticos e a interação GxA contribuíram na variação total observada, com valores de 18,451% e 32,123%, com o primeiro valor de importância por indicar a presença de uma base genética suficiente para a seleção de progênes superiores nas condições deste experimento, mesmo que

comparativamente seja menor que os efeitos dos meses e da interação, sendo diferente ao obtido por Aliyu et al. (2014), onde o maior contribuinte foi a genética, pelo fato de avaliar material originado de cruzamentos livres. A presença de desta variabilidade serve de base para o desenvolvimento de novas variedades ou cultivares que apresentem adaptação específica com rendimentos superiores devido a sua melhor adaptabilidade. Um aspecto importante é que os fatores ambientais e a interação GxA são os maiores responsáveis pela variação observada, ou seja, indicativo de maior efeito de fatores ambientais e sua interação com a variabilidade genética.

**Tabela 1.** Resumo da análise de variância e quadrados médios associados ao desdobramento do efeito de interação GxA para três características<sup>1</sup> em conjunto em progênes (PR) de açaizeiros no Amapá.

Fonte de Variação	GL	QM	PQM%
Mês (A)	11	31,433*	32,551
Rep	12	14,938**	16,876
Progênie (G)	36	5,444**	18,451
GxA	396	0,862**	32,124
resíduo	38167	0,200	
CV		33,200	
Média		1,348	

\*\* , \* e <sup>ns</sup>, significativos a 1% e 5% e não significativo pelo teste  $F_{G_{ollob}}$ , respectivamente.

PQM%: porcentagem representativa na contribuição dos quadrados médios.

A existência do efeito da interação GxA (resíduo de não aditividade), indica a possibilidade de decomposição desta interação através dos números de eixos PCs a serem determinados pela análise AMMI nas características em conjunto. Na Tabela 2 o primeiro eixo principal gerado (PC1), que acumula a quantidade de porcentagem maior do padrão associado à interação GxA, alcançou o valor de 49,8% da  $SQ_{GxA}$ , abaixo da estimativa citado para o PC1 no trabalho de Aliyu et al. (2014).

Pelo teste  $F_{G_{ollob}}$  nas características em análise multivariada tem-se como significativos os eixos PC1 e PC2, responsáveis então em explicar a parte padrão da interação GxA. Os eixos posteriores presumivelmente constituídos na sua maior porção apenas por ruídos, que somente geram

distorções nos resultados em relação à realidade. Portanto a análise pode ser com apenas estes dois eixos, ou seja, usando o modelo AMMI2, onde a soma dos dois primeiros termos consegue explicar 80,3% da totalidade da  $SQ_{GxA}$ , quantidade bastante para conseguir explicar a variação baseada na genética das progênes, valor este superior a 70% nos dois eixos, que é o considerado suficiente conforme afirmam Ramos et al. (2009) e Yan et al. (2000). Este resultado revela que se consegue ter uma excelente capacidade de predição do comportamento distinto das progênes com um modelo relativamente simples (contendo poucos termos multiplicativos).

**Tabela 2.** Porcentagens da soma de quadrados total ( $SQ_{GxA}$ ) associada a cada eixo principal, individualmente (pi) e acumulada (pa) e significância dos quadrados médios, estimados pela análise AMMI para três características<sup>1</sup> em progênes de açaizeiros.

	pi%	pa%	QM
PC1	49,8	49,8	0,091**
PC2	30,6	80,3	0,058*
PC3	6,9	87,2	0,014 <sup>ns</sup>
PC4	5,1	92,3	0,011 <sup>ns</sup>

\*\* , \* e <sup>ns</sup>, significativos a 1% e 5% e não significativo pelo teste F.

A soma dos dois eixos apresenta um valor que permite aceitar um comportamento considerado como “padrão” associado à interação GxA neste conjunto modelo-dados, em

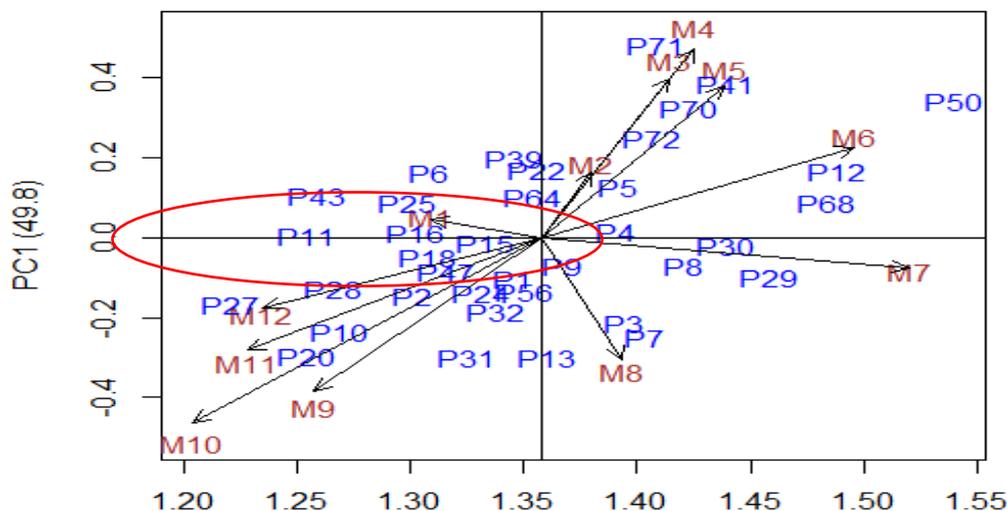
que poucos eixos são significativos e com capacidade de capturar a variação em quase sua totalidade, se situando nas proximidades do estimado em outros trabalhos, como em

caju para Aliyu et al. (2014) e em açaizeiro para Yokomizo et al. (2016) em bananeiras para produtividade, onde os dois primeiros eixos praticamente conseguiram explicar a totalidade da SQ da interação, semelhante ao que foi estimado aqui. Foram encontradas variações quanto ao número de eixos representativos, no caso apenas 1 eixo sendo suficiente para bananeira de Tenkouano e Baiyeri (2007) e para melão Gália em produtividade por Nunes et al. (2011). Dois acumulando 81,2% da SQ da interação, mas três sendo significativos para Oliveira et al. (2014).

Subsequente a análise estatística é efetuada a plotagem gráfica, partindo-se do comportamento de que as progênies ou anos que se situam nas cercanias da origem do eixo PC1 no modelo AMMI1 são as mais estáveis (DUARTE; VENCOVSKY, 1999; GUZMAN; ALEJANDRO, 2002; LAVORANTI, 2003), já para o modelo AMMI2 são aqueles que estiverem mais perto da origem de ambos os eixos. Assim, nos gráficos do modelo AMMI1 na Figura 2 e, AMMI2 na Figura 3, tem-se que as progênies apresentaram distribuição não concentrada, o que evidencia a presença de interação com os meses (adaptações específicas). No biplot AMMI1 (médias vs. PC1) na Figura 2, as

progênies com maior estabilidade, isto é, apresentando menores contribuições para a interação GxA capturada no primeiro eixo principal (PC1) e com contribuições positivas para as médias, foram identificadas como P30, P8 e P4, então estas são as com melhor adaptação ampla aos meses de avaliação, baseado na baixa interação GxA manifestada nas respostas fenotípicas. Apesar das progênies P50, P12, P68 e P29 também apresentarem elevada contribuição para as médias, o que induziria a supor que também são promissoras, possuem baixa estabilidade. Observa-se na Figura 2 a presença de especificidade entre alguns meses com algumas progênies. Resultado que se assemelha ao citado por Nunes et al. (2011) estudando melão Gália, para maracujá-amarelo em pesquisa de Oliveira et al. (2014) e em bananeiras por Yokomizo et al. (2016), havendo existência de genótipos com maior estabilidade, estando próximas do eixo PC1 e, também os com melhor adaptabilidade específica, tendo também a presença daqueles que apresentaram comportamento intermediário e indo até os com instabilidade alta.

**Figura 2.** Biplot AMMI1, Médias (x) vs PC1 (y), com os ambientes correspondentes à meses e progênies, para multivariada de três características em 37 progênies em açaizeiros. Anos identificados como M seguido pelo número e progênies identificadas como P seguido de número.



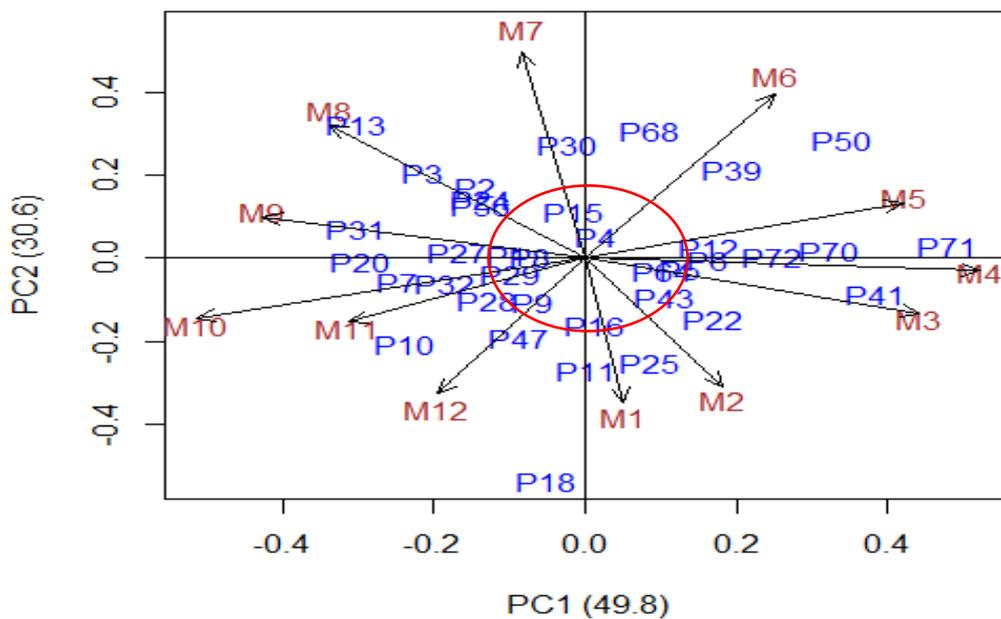
Importante ressaltar que as progênies com maiores contribuições para as médias foram também para a interação GxA, similar ao também detectado por Aliyu et al. (2014) e, distinguindo-se do observado por Maia et al. (2009) cujos materiais mais produtivos não sofreram influência ambiental significativa. Independentemente de suas estabilidades e adaptabilidades, as progênies que se destacaram por apresentar os maiores valores médios foram P50, P12, P68. Os meses que melhor contribuíram para as médias estão entre março e agosto, ou seja, inicia-se na metade do período chuvoso e perdura até em torno do segundo mês de estiagem.

No biplot AMMI2 (Figura 3), via de regra ratificou o comportamento genotípico observado no modelo AMMI1, pois foram constatadas coincidências entre os superiores, confirmando a estabilidade antes observada, excetuando-se apenas P30, que neste modelo apresentou instabilidade, isto é indicativo que o ponto de corte efetuado pelo PC1, *per se* foi suficiente para deduzi sobre a previsibilidade de comportamento, então as variáveis utilizada provavelmente interagem pouco com os fatores ambientais que produzem maior interação GxA. O segundo eixo (PC2) com certeza conseguiu reter efeitos importante para corrigir possíveis distorções ou corrigir erros quando é utilizada apenas uma única dimensão. Então devido a este comportamento é

confirmado a estabilidade (baixa contribuição para interação GxA) e a ampla adaptabilidade visualizada nas progênes P8, P4, P9. A presença da estabilidade é importante se ter confiabilidade ao comportamento dos genótipos num ambiente em relação à média geral de todos os ambientes,

conforme citado por Rocha et al. (2007). Somando-se a progênes P29 usando-se o modelo AMMI2, quanto ao desempenho e estabilidade.

**Figura 3.** Biplot AMMI2, PC1 (x) vs PC2 (y), com os ambientes correspondentes à meses e progênes, para multivariada de três características em 37 progênes selecionadas pelo dendrograma em açaizeiros. Meses identificados por M seguido por número e progênes identificadas como P seguido de número.



Quando se agrega a informação apresentada pelo segundo eixo (AMMI2), as progênes superiores não mostraram adaptabilidades específicas, as com comportamento intermediário e inferiores em geral mantiveram suas proximidades com os meses semelhante ao que foi obtido no modelo AMMI1, comportamento este comum e citado no trabalho de Aliyu et al. (2014). Adicionalmente também pode se afirmar que não houve progênie que tenha conseguido se adaptar simultaneamente a todas as condições ambientais, similar ao visto por Aliyu et al. (2014).

A presença de interações positivas ou negativas das progênes com determinados meses também se ratificam no biplot AMMI2, confirmando-se a existência de baixa adaptação a determinados meses agrícolas, observados na análise AMMI1 e confirmados no modelo AMMI2. Isso acontece, pois existiram progênes apresentando interações altas nos dois eixos (instabilidade), plotando-se distantes da origem dos eixos com distribuição em quadrantes diferentes entre os meses (Figura 3). O comportamento entre os dois modelos indica que o primeiro eixo foi capaz de capturar a parcela mais importante do padrão da interação GxA, sendo que a distribuição observada é similar ao citado por Sethi et al. (2016), e diferindo parcialmente ao apresentado por Oliveira et al. (2014) cujo somente alguns genótipos tiveram comportamento confirmado no modelo AMMI2, sendo estáveis somente em AMMI1, o que indica que o modelo AMMI1 não foi suficiente.

Os meses avaliados individualmente apresentaram contribuições superiores para a interação GxA em relação às progênes, excetuando-se no comparativo as progênes P50 no modelo AMMI1 e P18 no modelo AMMI2. Comportamento constatado pela maior dispersão dos pontos ou vetores dos meses comparativamente aos vetores associados às progênes nos dois biplots (médias x PC1 e; PC1 x PC2), comportamento cuja tendência é similar as pesquisas com espécies vegetais diferente citados por Nunes et al. (2011), Oliveira et al. (2014) e Yokomizo et al. (2016). O que mostra a importância conforme afirmam Aliyu et al. (2014) da necessidade de estudos que identifiquem quais são fatores ambientais específicos envolvidos na manifestação da interação nos diferentes ambientes, aqui refere-se aos diferentes meses de avaliação.

Quanto aos ambientes com baixos escores nos eixos IPC (alta estabilidade), segundo Oliveira e Godoy (2006) sugerem que devem ser considerados interessantes como locais no início dos programas de melhoramento onde ainda há pouca quantidade de sementes e/ou material propagativo, limitando a quantidade de experimentos em vários ambientes, portanto então apenas o mês de janeiro sob estas condições intrínsecas, pode ser considerado sobre este prisma no modelo AMMI1 (Figura 2 e 3).

Os meses distribuíram-se por todos os quadrantes na análise AMMI2 (Figura 3), num padrão dispersa, o que indica que cada mês apresentou diferentes fatores geradores de distinção na interação associado ao primeiro eixo principal,

provavelmente a contribuição diferenciada seja efeito das diferenças climáticas, manejo e o estágio fenológico das plantas de açaizeiro, não se assemelhando ao que é citado por Aliyu et al. (2014) onde houve tendência de similaridade entre ambientes.

Portanto para se compreender quais os fatores e a intensidade que estes possuem na interação, nas Tabelas e Figuras, baseadas principalmente na dispersão das progênies e sem adaptabilidade específica em geral, torna-se importante o desenvolvimento de manejo adaptada para as especificidades fisiológicas e ecológicas do açaizeiro. Concordando com a proposição de Aliyu et al. (2014) em que existe a necessidade de tecnologias adaptadas para uma melhor resposta do indivíduo para as especificidades ambientais e, portanto, com isso a seleção de diferentes genótipos de açaizeiros.

## CONCLUSÕES

A combinação da multivariada, com o agrupamento pelo dendrograma e posteriormente com o material selecionado com a análise gráfica AMMI é eficiente e necessária para interpretação gráfica da análise de estabilidade e adaptabilidade;

A variabilidade genética existente nas progênies, mostrada pelas contribuições individuais distintas para a interação GxA, assim como também identificar os efeitos ambientais, são fundamentais para a continuidade do melhoramento genético da espécie;

As progênies com maior destaque para estabilidade e adaptabilidade foram P4, P8 e P30, somando-se com o modelo AMMI2 a progênie P29. Expandindo-se com o retorno ao dendrograma para as progênies P51, P53 e P55.

A metade final do período chuvoso (março) até a metade inicial do período de estiagem (agosto) é o período do ano com contribuições superiores para a manifestação de médias positivas das progênies.

## REFERÊNCIAS

ALIYU, O. M. Genetic diversity of the Nigerian cashew germplasm. In: CALISKAN, M. (Ed.) **Genetic Diversity in Plants**. Rijeka: InTech Publisher, 2012, p. 163-184.

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**, Suwon, v. 2, n. 4, p. 354-369, 2014.

CLIMATE-DATA.ORG **Clima Mazagão**. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/amapa/mazagao-33758/#climate-graph>. Acesso em: 11 jul 2021.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Açaí - Análise Mensal - Março/2020**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado->

agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-acai. Acesso em: 22 jul 2021.

COUTINHO, R. V. **A exploração do açaí como alternativa para o desenvolvimento econômico da Amazônia Legal: estudo de caso do estado do Pará (1990-2010)**. 86 p. 2017. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional da Amazônia). Universidade Federal de Rondônia, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional da Amazônia, 2017.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético** (3. ed.). Viçosa-MG: Editora UFV. 2014. 668 p.

DUARTE, J. B. Aspectos gerais da interação genótipos x ambientes com ênfase na formação de redes de avaliação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 1., Goiânia, 2001. **Resumos**. Goiânia: SBMP, 2001.

DUARTE, J. B.; VENCOVSKY, R. **Interação genótipos x ambientes: uma introdução à análise AMMI**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1999. 60p.

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. 1, p. 532-539, 2011.

GALEÃO, P. **Potencialidades e limites da cadeia de valor do açaí em boca do Acre**. Instituto Internacional de Educação do Brasil. 14 p. Março 2017. Disponível em: [http://www.fundovale.org/wp-content/uploads/2017/10/2\\_acai\\_bocadoacre.pdf](http://www.fundovale.org/wp-content/uploads/2017/10/2_acai_bocadoacre.pdf). Acesso em: 28 jul. 2021.

GAUCH, H. G.; ZOBEL, R. W. Predictive and postdictive success of statistical analysis of yield trials. In: **Theoretical and Applied Genetics**, New York, v. 76, n. 1, p. 1-10, 1988.

GUZMAN, P. S.; ALEJANDRO, F. R. Searching for better white corn genetics for marginal uplands in the Philippines. Proceedings of the 8<sup>th</sup> Asian Regional Maize Workshop, Bangkok; Thailand, **Proceedings**, 2002. p. 156-164.

HOMMA, A. K. O.; NICOLI, C. M. L.; MENEZES, A. J. E. A. de; MATOS, G. B. de; CARVALHO, J. E. U. de; NOGUEIRA, O. L. **Custo Operacional de Açaizeiro Irrigado no Nordeste Paraense**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 18 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 255).

KARIMIZADEH, R.; ASGHARI, A.; CHINIPARDAZ, R.; SOFALIAN, O.; GHAFARII, A. Determining yield stability and model selection by AMMI method in rain-fed durum wheat genotypes. **Turkish Journal of Field Crops**, Konak, v. 21, p. 174-183, 2016.

LAVORANTI, O. J. **Estabilidade e adaptabilidade fenotípica através da reamostragem "Bootstrap" no modelo AMMI**. 2003. 166f. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agrônômica). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

- MAIA, M. C. C.; RESENDE, M. D. V.; PAIVA, J. R. de; CAVALCANTI, J. J. V.; BARROS, L. de M. Seleção simultânea para produção, adaptabilidade e estabilidade genotípicas em clones de cajueiro, via modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 1, p. 43-50, 2009.
- MALOSETTI, M.; RIBAUT, J.-M.; EEUWIJK, F.A. van. The statistical analysis of multi-environment data: modeling genotype-by-environment interaction and its genetic basis. **Frontiers in Physiology**, Zurich, v. 4, article 44, 2013.
- NEVES, L. T. B. C.; CAMPOS, D. C. S.; MENDES, J. K. S.; URNHANI, C. O.; ARAÚJO, K. G. M. Quality of fruits manually processed of açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) and bacaba (*Oenocarpus bacaba* Mart.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 37, n. 3, p. 729-738, 2015.
- NOGUEIRA, A. K. M.; SANTANA, A. C. Benefícios socioeconômicos da adoção de novas tecnologias no cultivo do açaí no Estado do Pará. **Revista Ceres**, p. 1-7, Viçosa-MG, v. 63, n. 1, 2016.
- NOGUEIRA, A. K. M.; SANTANA, S. C. de; GARCIA, W. S. A dinâmica do mercado de açaí fruto no Estado do Pará: de 1994 a 2009. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 3, p. 324-331, 2013.
- NUNES, G. H. S.; SANTOS JÚNIOR, H.; GRANGEIRO, L. C.; BEZERRA NETO, F.; DIAS, C. T. S.; DANTAS, M. S. M. Phenotypic stability of hybrids of Gália melon in Rio Grande do Norte state, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 83, n. 4, p. 1421-1433, 2011.
- OLIVEIRA, E. J de; FREITAS, J. P. X. de; JESUS, O. N. de. AMMI analysis of the adaptability and yield stability of yellow passion fruit varieties. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 71, n. 2, p. 139-145, 2014.
- OLIVEIRA, E.J.; GODOY, I.J. Pod yield stability analysis of runner peanut lines using AMMI. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 6, p. 311-317. 2006.
- R CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2020. Disponível em: <http://www.R-project.org/>. Acesso em: 20 abr 2021.
- RAMOS, L. M.; SANCHES, A.; COTES, J. M. Testes multiambientais na seleção de genótipos de arroz utilizando o modelo de regressão nos sítios ou locais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 1, p. 52-57, 2009
- ROCHA, M. M.; FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; CARVALHO, H. W. L. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi de porte semi-ereto na região Nordeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 1283-1289. 2007.
- SANTOS, J. C.; SENA, A. L. S.; HOMMA, A. K. O. Viabilidade econômica do manejo de açaizais no estuário amazônico do Pará. In: GUIDUCCI, R. C. N.; LIMA FILHO, J. R.; MOTA, M. M. (eds.). **Viabilidade econômica de sistemas de produção agropecuários**. Brasília-DF: Embrapa, 2012. p.351-409. Disponível em: <http://sigla=ac&tema=extracaovegetal2015>.
- SETHI, K.; TRIPATHY, P.; MOHAPATRA, K. C. Variability and heritability of important quantitative characters in cashew (*Anacardium occidentale* L.). **Environment & Ecology**, Kolkata, v. 34, n. 4, p. 1795-1798. 2016
- SILVESTRE, W. V. D.; PINHEIRO, H. A.; SOUZA, R. O. R. M.; PALHETA, L. F. Morphological and physiological responses of açaí seedlings subjected to diferente watering regimes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 4, p. 364-371, 2016.
- SOUSA, P. C.; ANDRADE, V. M. S. Potencialidade na produção de Euterpe oleracea Mart (Açaí) em comunidades tradicionais na Amazônia. **Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales**, Málaga, p.1-13, 2018.
- TENKOUANO, A.; BAIYERI, K. P. Adaptation pattern and yield stability of banana and plantain genotypes grown in contrasting agroecologies in Nigeria. **8th African Crop Science Society Conference, El-Minia, Egypt, 27-31 October 2007. Proceedings**, v. 8, p. 337-384, 2007.
- WEATHERSPARK. **Condições meteorológicas médias de Mazagão – Brasil**. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/29784/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Mazag%C3%A3o-Brasil-durante-o-ano>. Acesso em: 09 Jul. 2021.
- XIMENES, L. C.; GAMA, J. R. V.; BEZERRA, T. G.; CRUZ, G. S. Importância do açaí na renda mensal da comunidade quilombola Murumuru em Santarém, Pará. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, Aracaju, v. 11, n. 2, p. 36-42, 2020.
- YAN, W.; HUNT, L. A.; SHENG, Q.; SZLAVNICS, Z. Cultivar evaluation and Mega-environment investigation based on GGE biplot. **Crop Science**. Madison, v. 40, n. 3, p. 597-605, 2000. doi:1
- YOKOMIZO, G.K.I.; DIAS, J.S.A.; DIAS, C.T.S.; HONGYU, K. Análise AMMI em caracteres vegetativos de genótipos de bananeiras no Amapá. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, Belém, v. 59, n. 1, p. 1-8, 2016. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.1845>
- YUYAMA, K.; VAREJÃO, M. J.; FÁVARO, D. I. T.; VASCONCELLOS, M. B. A.; PIMENTEL, S. A.; CARUSO, M. S. F. Caracterização físico-química do suco de açaí de Euterpe precatoria Mart. oriundo de diferentes ecossistemas amazônicos. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 41, n. 4, p. 545-552, 2011.

Submissão: 11/08/2021

Aprovado para publicação: 20/06/2022