

Estabilidade e adaptabilidade pelo uso combinado de dendrograma e AMMI em progênies de açaizeiro

Gilberto Ken Iti Yokomizo^{1*}, Francisco de Oliveira Cruz Júnior², Kuang Hongyu³, João Tomé de Farias Neto⁴

1. Doutor, Genética e Melhoramento de Plantas, Embrapa Amapá, Rod JK, 2600, Universidade, CEP 68.903-419, Macapá-AP, Brasil.
gilberto.yokomizo@embrapa.br <http://lattes.cnpq.br/4005192182571140> <http://orcid.org/0000-0002-3790-4981>
2. Mestre, Biodiversidade Tropical. IEPA (Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Amapá), Rod JK, km 10, Fazendinha, CEP 68.903-419, Macapá-AP, Brasil.
junior20_oliveira@yahoo.com.br <http://lattes.cnpq.br/1485515135052878> <http://orcid.org/0000-0003-3059-165X>
3. 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.
kuang_hongyu@hotmail.com <http://lattes.cnpq.br/0270133834542310> <http://orcid.org/0000-0003-1682-7013>
4. Doutor, Genética e Melhoramento de Plantas, Embrapa Amazônia Oriental, Tv. Dr. Eneas Pinheiro, s/n, Marco, CEP 66.095-903, Belém-PA, Brasil.
joao.farias@embrapa.br <http://lattes.cnpq.br/3837868873609532> <http://orcid.org/0000-0002-0404-3556>

RESUMO

O fruto do açaizeiro, cujo consumo tem-se ampliado nacionalmente e internacionalmente, necessita de pesquisas para seleção de materiais genéticos promissores para atender esta demanda crescente. Mas o grande número de progênies envolvidas nas pesquisas dificulta a interpretação dos resultados em análises gráficas, portanto o objetivo deste trabalho foi combinar o agrupamento por dendrograma para redução do quantitativo de progênies para posterior análise AMMI visando identificar as superiores, representando a primeira ocorrência de utilização desta combinação em açaizeiro. As progênies foram instaladas em delineamento experimental de blocos ao acaso com duas repetições e cinco plantas por parcela. As características avaliadas foram: FAB - Folhas Maduras; FLF - Lançamento Foliar e; TM - Tamanho do Cacho. Análise multivariada para verificar o comportamento simultâneo das características foi realizada em experimento instalado em Mazagão, AP de 2009 a 2013. As conclusões foram que o uso combinado do agrupamento pelo dendrograma e análise gráfica AMMI mostram-se importantes e eficientes num quantitativo grande de progênies; há variabilidade genética pelas evidentes contribuições individuais distintas para a interação GxA e de efeitos ambientais, importante para o melhoramento genético; as progênies com maior destaque foram P3, P16 e P17, somando-se utilizando-se o modelo AMMI2 as progênies P7 e P32, expandindo com o dendrograma para as progênies P21, P22, P36, P51, P54, P72, P73 e P76 e; o diferente comportamento das progênies entre anos mostra que o desenvolvimento das plantas influencia as respostas aos fatores ambientais, tornando importante as pesquisas para se conhecer as exigências e respostas do açaizeiro.

Palavras-chave: *Euterpe oleracea*; melhoramento genético; interação genótipo x ambiente; análise de componentes principais.

Stability and adaptability by the combined use of dendrogram and AMMI in progenies of açai

ABSTRACT

Consumption of the açai fruit is expanding nationally and internationally, and to select promising genetic materials to meet this growing demand requires further research. However, the large number of progenies involved in the research makes it difficult to interpret the results in graphic analysis. So the objective of this work was to combine the grouping by dendrogram to reduce the number of progenies for later AMMI analysis in order to identify the superior ones, representing the first use of this combination in açai. The progenies were submitted to a randomized block design with two replications and five plants per plot. The evaluated characteristics were: FAB - Mature Leaves; FLF - Foliar Release; and TM - Bunch Size. Multivariate analysis to verify the simultaneous behavior of the characteristics was carried out in an experiment in Mazagão, AP, Brazil from 2009 to 2013. It was found that the combined use of grouping by dendrogram and AMMI graphical analysis are important and efficient in a large number of progenies; there is genetic variability due to the evident distinct individual contributions to the GxA interaction and environmental effects, important for genetic improvement. The most prominent progenies were P3, P16, and P17, and adding the AMMI2 model progenies P7 and P32, and with the dendrogram extending to progenies P21, P22, P36, P51, P54, P72, P73, and P76. The different behavior of the progenies between years shows that the development of plants influences the responses to environmental factors, making further research necessary to determine the requirements and responses of the açai.

Keywords: *Euterpe oleracea*; genetic breeding; genotype x environment interaction; principal component analysis.

Introdução

O açaizeiro é uma palmeira da família Arecaceae, vastamente disseminada e cultivada na Amazônia brasileira. Ocorre de forma natural na região amazônica e possui grande importância econômica para a fruticultura regional, principalmente para o Pará, cuja produção, comercialização e consumo de polpa movimentam grandes mercados (NEVES et al., 2015), sendo o suco de açai um produto ícone deste Estado, representando o principal produto extraído da palmeira (SILVESTRE et al., 2016).

Com a popularização do apelo ecológico e das descobertas das qualidades nutricionais a comercialização da polpa de açai tem crescido gradativamente juntamente com uma expansão para outros mercados nacionais e atingindo até níveis internacionais (PAGLIARUSSI, 2010). O Brasil é o maior produtor, consumidor e exportador de polpa de açai (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 repre-

sentando 99% destes valores, destacando-se o Pará com mais de 95% do total brasileiro (IBGE, 2020).

No Estado do Pará o açai envolve mais de 13.000 produtores, tendo grande importância socioeconômica no estado, abrangendo 300 mil pessoas de 54 municípios (COMEX DO BRASIL, 2017). Na capital, Belém, estima-se que 25 mil pessoas atuam de forma direta e indireta na comercialização do açai, como extração, transporte, comercialização e industrialização, e com isso correspondendo a 70% da fonte de renda da população ribeirinha (NOGUEIRA et al., 2013; RODRIGUES et al., 2015a; RODRIGUES et al., 2015b).

A Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e da Pesca (SEDAP) avalia que 60% da produção do açai é consumido internamente no Pará, 30% em outros estados do Brasil e 10% são exportados para outros países, revelando o mercado interno e nacional como grandes consumidores do fruto e o mercado externo com potencial apreciável de crescimento (PESSOA; TEIXEIRA, 2012;

TAVARES; HOMMA, 2015). Na exportação, destacam-se alguns países da Europa, nos Estados Unidos, Japão e China, (SCHRECKINGER et al., 2010), adicionalmente também sendo exportado para Holanda e Coréia do Sul (CARVALHO et al., 2017), impulsionado em função de suas propriedades antioxidantes, da composição nutricional, rica em fibras, lipídeos, fenóis e a antocianina que podem estar relacionados à prevenção de doenças cardiovasculares (MOURA ROCHA, 2015; YAMAGUCHI et al., 2015). Sendo também rico em proteínas, vitamina E, e minerais, como manganês, cobre, boro e cromo (SILVA et al. 2017) e apresentar efeito hipocolesterolêmico (SOUZA et al., 2011).

Com a valorização e o acréscimo na demanda dos diversos mercados pelo açaí, há marcante necessidade de aumento do quantitativo de frutos necessários para atender aos consumidores. Neste contexto, está ocorrendo expansão dos açaizais manejados, em áreas de várzeas e em áreas de terra firme (FARIAS NETO et al., 2011). Observando-se também na mesorregião do Pará, Nordeste Paraense, a incorporação da tecnologia da irrigação no plantio de açaizeiros no período de estiagem, visando permitir uma produção de açaí na entressafra (NOGUEIRA et al., 2013).

Mas para atingir este objeto é necessário que o melhoramento genético disponha de variabilidade e divergência genética que possibilitem obter as informações necessárias para subsidiar o processo de seleção (GOMES JÚNIOR et al., 2014). Trabalhos publicados demonstram a que existe a possibilidade de selecionar genótipos melhorados em progênies de açaizeiros, pois há a presença de plantas se destacando (YOKOMIZO et al., 2016a; 2016b; FARIAS NETO et al., 2018).

Para auxiliar esta seleção pode-se empregar técnicas multivariadas envolvendo componentes principais, agrupamentos, variáveis canônicas, distâncias Euclidiana e de Mahalanobis, facilitando a interpretação de variabilidade existente nas progênies avaliadas (VENTURA et al., 2012; CRUZ et al., 2012), principalmente por considerar simultaneamente as características levando em consideração as possíveis correlações existente entre estas (VENTURA et al., 2012). Essas técnicas quantificam e visualizam a variabilidade, identificam genótipos desejáveis e grupos de similaridade que possam se constituir duplicatas e, ainda, otimizam seus manejos pela identificação dos caracteres mais informativos para serem empregados na caracterização e melhoramento genético (CRUZ et al., 2014).

Um aspecto interessante sobre a técnica denominada análise de agrupamentos, também conhecida como análise de conglomerados, classificação ou cluster, é a possibilidade da estruturação de dendrogramas, tendo como objetivo dividir as progênies, ou população, em grupos de forma que as plantas pertencentes a um mesmo grupo sejam similares entre si com respeito às variáveis (características) que neles foram medidas, e as progênies em grupos diferentes sejam heterogêneos em relação a estas mesmas características (MINGOTI, 2013).

As informações obtidas tanto com as análises multivariadas como de agrupamento sobre a variabilidade servem como orientador da escolha de genitores para a obtenção de populações híbridas com alta capacidade combinatória e verificador do “depósito” de variabilidade disponível em um banco de germoplasma, aplicando-se também ao açaizeiro. Pois em geral, os programas de melhoramento genético contam com grande número de genótipos, em seu banco ativo de germoplasma (RESENDE et al., 2014).

Um complicador para esta seleção é o efeito que o ambiente tem sobre o comportamento de um material genético, modificando sua expressão fenotípica. Assim, quanto maior a quantidade de variações nos fatores ambientais há probabilidade maior de diferentes expressões das características vegetativas e reprodutivas nas plantas. Essa manifestação é denominada de interação genótipos versus ambientes (GxA), tornando-se um complicador ao dificultar a seleção e recomendação de genótipos adaptados e estáveis (CRUZ et al., 2014). Baseado nestes aspectos, em geral, os programas de melhoramento genético tentam selecionar materiais com ampla adaptação e estabilidade, sendo, portanto, reco-

mendados para diversos locais (MALOSETTI et al., 2013).

Para a avaliação da interação GxA uma ferramenta que vem sendo utilizada com grande sucesso é a chamada análise AMMI (“Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Model”), permitindo a interpretação e compreensão dos diferentes padrões de interação ao caracterizar de forma mais eficaz os fatores genéticos e ambientais envolvidos e, assim, propiciar melhores estimativas das respostas genotípicas nos diferentes ambientes (DUARTE, 2001).

Com os resultados obtidos da análise AMMI pode-se gerar uma representação simultânea individual nos gráficos de cada genótipo e ambiente fornecendo informações sobre a estabilidade e a adaptabilidade de ambos, além de permitir a realização de zoneamento agrônomico e a escolha de locais-chave para o processo de avaliação e seleção (LAVORANTI, 2003). Atualmente é amplamente utilizado para detectar genótipos estáveis e especificar a significância da interação GxA (KARIMIZADEH et al., 2016).

Com base nestas informações, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho agrônomico de uma população de açaizeiros visando identificar os genótipos mais responsivos e adequados aos níveis de variação ambiental, apoiado em uma pré-seleção de progênies por agrupamento pelo dendrograma, devido o número elevado de progênies que impossibilitaria a visualização do comportamento nos gráficos AMMI. Essa junção de metodologias foi necessária e é a primeira aplicação para análise AMMI que se torna inviável quando existe um conjunto muito grande de genótipos em estudo.

Material e Métodos

Esse estudo é parte do programa de melhoramento genético de açaizeiro para produção de frutos no estuário amazônico, conduzindo um plantio de açaizais em área de várzea no Campo Experimental de Mazagão da Embrapa Amapá que possui solo predominante do tipo Gley Pouco Húmico de textura média, drenado e de média a alta fertilidade natural. A área utilizada apresenta topografia plana e cobertura vegetal tipo capoeira. Apresenta tipo climático Ami segundo classificação de Köppen, tropical chuvoso, com temperatura média do mês mais frio (junho) de 22,7°C e do mês mais quente (setembro) de 32,8°C, com precipitação do mês mais seco (outubro) de 32 mm e do mês mais chuvoso (março) de 365 mm. O regime climático anual apresenta precipitação total de 2410 mm, com concentração entre os meses de janeiro e junho, temperatura média anual de 27°C e umidade relativa média do ar de 85% (CLIMATE-DATA.ORG, 2020).

O material genético utilizado na área é composto por população originada de sementes coletadas de 76 matrizes selecionadas em açaizais nativos da região oeste da Ilha de Marajó (safra de inverno). O delineamento experimental adotado foi de blocos ao acaso com duas repetições e cada parcela representada por cinco plantas, plantadas no espaçamento de 4 x 5m. O número reduzido de repetições se deve a quantidade de progênies e a área total do experimento.

As avaliações foram realizadas mensalmente no período de 2009 a 2013 por meio dos descritores, sendo:

FAB - Folhas Maduras: contagem de todas as folhas existentes por planta, com exceção das em desenvolvimento e senescentes.

FLF - Lançamento Foliar: contagem por planta de folhas em formação, com a bainha foliar fechada.

TM - Tamanho do Cacho: valor atribuído a avaliação visual dos cachos: onde 1 é atribuído aos menores valores e 7 para os maiores.

Com a finalidade de facilitar a compreensão do comportamento das progênies em relação as características avaliadas em conjunto foi realizada uma análise multivariadas, pois o desejado foi observar em relação as três características simultaneamente.

O quantitativo de progênies impossibilita o uso do AMMI, causando um aglomerado que impede a interpretação da análise gráfica, portanto decidiu-se realizar preliminarmente o agrupamento das progênies pelo dendrograma, selecionando-se cerca de

50% destas. Essa redução das progênies permite o uso na análise AMMI, com posterior vinculação dos melhores materiais aos que compuseram os mesmos grupos no dendrograma. Essa junção de metodologias, dendrograma e AMMI, representa o primeiro uso deste tipo para facilitar e possibilitar o estudo pelo AMMI de grande quantitativo de material genético.

A análise de agrupamento foi feita, adotando-se a distância generalizada de Mahalanobis (D^2) como medida de dissimilaridade, por considerar a correlação entre os caracteres avaliados, segundo Cruz et al. (2014). Com base na matriz de dissimilaridade gerada, foi elaborado dendrograma pelo método de UPGMA (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean*) cujo critério utilizado para a formação dos grupos é a média das distâncias entre todos os pares de itens que formam cada grupo.

O tratamento estatístico dos dados, incluindo-se análises de variância individuais e conjunta, considerando-se os anos de avaliações de 2009 a 2013, bem como a análise de estabilidade e adaptabilidade via modelo AMMI, foi realizado utilizando-se os procedimentos do programa R versão 3.4.1 (R CORE TEAM, 2020).

A análise AMMI, descrita detalhadamente em Duarte e Venkovsky (1999), baseia-se no seguinte modelo:

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

em que: Y_{ij} é a resposta média das repetições do i -ésimo clone ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) no j -ésimo ano ($j = 1, 2, 3, \dots, a$); μ é a média de todos os clones em todos os anos (média geral); g_i é o efeito principal do clone " i "; a_j é o efeito principal do ano " j "; λ_k , γ_{ik} e α_{jk} são os termos da decomposição singular (DVS) ou da análise de componentes principais (ACP) da matriz $GE_{gca} = \{(g\hat{a})_{ij}\}$, que expressam e capturam o "padrão" associado à interação do clone " i " com a ano " j ", sendo $(g\hat{a})_{ij}$ os desvios de aditividade dos dados (Y_{ij}) em relação aos efeitos principais g_i e a_j ; ρ_{ij} é o ruído adicional a ser eliminado na análise, relativamente ao termo $(g\hat{a})_{ij}$ tomado tradicionalmente como a própria interação; e ε_{ij} é o erro experimental médio, em nível de médias de repetições, assumido: i.i.d. $\sim N(0, \sigma^2)$.

Assim, a análise AMMI é realizada em duas etapas sequenciais: 1ª) os efeitos principais, na parte aditiva do modelo (média geral, efeitos de clones e anos), são ajustados por análise de variância (ANOVA), resultando em um resíduo de não aditividade: $(g\hat{a})_{ij} = Y_{ij} - Y_{i.} - Y_{.j} + Y_{..}$, isto é, nas estimativas de quadrados mínimos ordinários de $(g\hat{a})_{ij}$; 2ª) a interação (parte multiplicativa do modelo) é ajustada mediante DVS ou ACP aplicada à matriz $GE_{gca} = \{(g\hat{a})_{ij}\}$, resultando numa porção denominada "padrão" (a interação propriamente dita - interação AMMI), e noutra de "ruído", a ser descartada juntamente com o resíduo ANOVA.

Para definição do número de eixos principais a serem retidos a fim de explicar e representar graficamente o padrão relacionado à interação, foram adotados os critérios utilizados por Gauch e Zobel (1988), levando-se em consideração a proporção da soma de quadrados da interação original (SQ_{GxA}) acumulada até o n -ésimo eixo:

$$\frac{\sum_{k=1}^n \lambda_k^2}{SQ_{GxA}}$$

Dessa forma, o ponto de parada que determina a seleção do modelo na família de modelos AMMI ($AMMI0, AMMI1, \dots, AMMI_n$), foi obtido com base na significância dos testes F_{GxA} para os sucessivos termos de interação, sendo obtido pela significância de cada componente relacionado ao QM erro médio dos eixos PC a serem retidos no modelo.

Resultados e discussão

Devido ao quantitativo de 76 progênies, número que dificulta a visualização da distribuição e, por conseguinte, a compreensão de seus comportamentos nos gráficos AMMI, adotou-se como procedimento preliminar a formação de agrupamentos pelo dendrograma, com base nas mudanças acentuadas de níveis (CRUZ et al., 2014), com cada agrupamento contendo progênies similares, permitindo desta forma utilizar apenas uma destas para a geração

dos Biplots AMMI, cujo comportamento pode ser expandido posteriormente as demais progênies dentro do mesmo agrupamento que não foram utilizadas para a geração dos gráficos. O limite adotado para a formação de grupos neste trabalho foi de 0,125 de dissimilaridade, pois delimitou grupos que permitiu a escolha de 50% das progênies para utilização no estudo gráfico (Figura 1), neste caso apenas uma progênie de cada agrupamento para a análise gráfica.

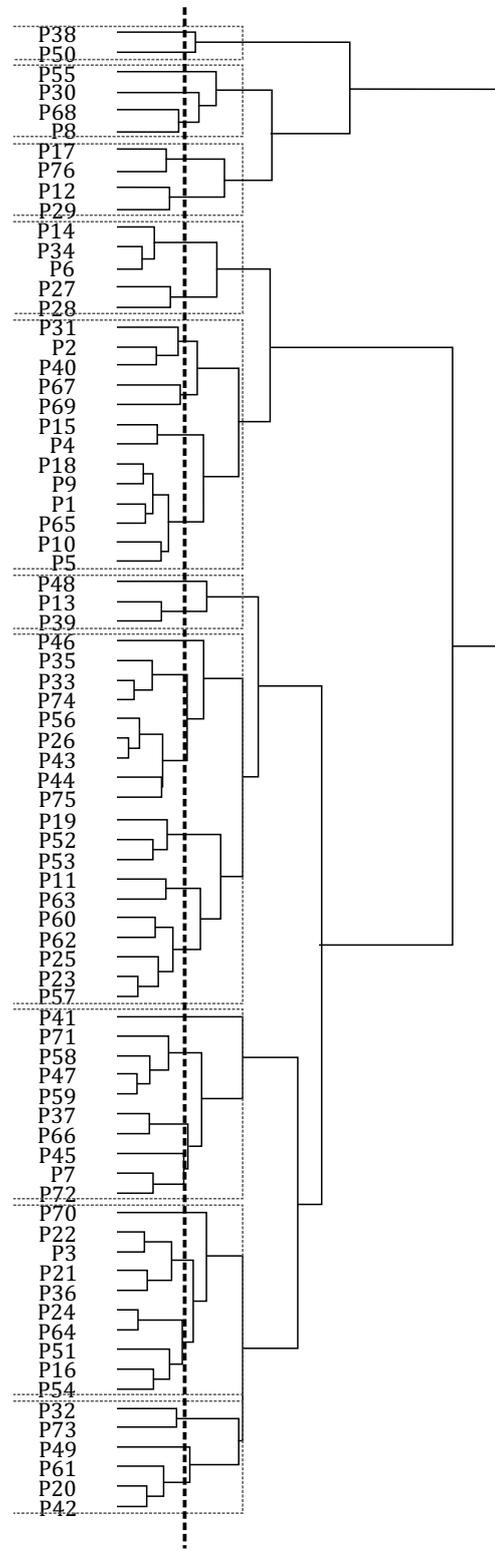


Figura 1. Dendrograma usando o método de Ligação Média entre Grupos (UPGMA) envolvendo 76 progênies de açaizeiro com base em três características morfológicas, utilizando como limite (L) de dissimilaridade o valor de 0,125. / Figure 1. Dendrogram using the Unweighted Pair Group Method using Arithmetic averages (UPGMA) involving 76 açai progenies based on three morphological characteristics, using as a limit (L) of dissimilarity the value of 0.125.

A análise de variância, contendo a decomposição da interação GxA , para os diferentes anos e progênies de açaizeiros selecionadas pelo dendrograma, revelou diferenças significativas tanto entre

progênies como na interação genótipos com ambientes, por conseguinte, apresentando respostas diferenciadas perante os efeitos ambientais, comportamento semelhante ao observado por Aliyu et al. (2014). Também constatou-se que houve a presença de variabilidade genética, indicativo da expressão diferenciada entre as avaliações. Adicionalmente um aspecto a ser citado é que os anos de teste não foram consideravelmente discrepantes na expressão das características (Tabela 1). A explicação para este comportamento é apresentada por Aliyu (2012) que afirmam a existência de indícios da presença de uma base genética suficiente (fonte de introdução diferencial, nível de domesticação e melhoria) e de polinização livre (meios irmãos) sendo responsáveis para a variabilidade genética e diferentes interações GxA.

Os efeitos não controláveis associados aos diferentes anos, representando 27,80% dos efeitos totais, foram inferiores a variação genética (progênies). Os componentes genéticos dos materiais avaliados e a interação GxA apresentaram contribuições para a variação observada, com valores de 39,85% e 10,61%, respectivamente. Estas contribuições são indícios da existência de uma base genética suficiente para se obter progênies superiores de açaizeiros para as condições deste experimento, semelhantemente aos resultados de Aliyu et al. (2014), cuja contribuição genética foi maior, explicada por estes autores pelo fato do cruzamento livre permitir maior número de combinações genéticas em relação aos cruzamentos dirigidos, sendo necessário posterior seleção para o desenvolvimento de fenótipos (variedades) com adaptação específica, acontecendo o mesmo com as progênies de açaizeiros e dissimilar ao apresentado por Oliveira et al. (2014) em maracujá-amarelo. Os resultados aqui sinalizam que a maior parte da variação é explicada pela genética das progênies, ou seja, a parte herdável e pela interação GxA.

Tabela 1. Resumo da análise de variância e quadrados médios associados ao desdobramento do efeito de interação GxA para três características em conjunto em progênies (PR) de açaizeiros no Amapá. / **Table 1.** Summary of the analysis of variance and mean squares associated with the unfolding of the GxA interaction effect for three characteristics together in progénies (PR) of açai palms in Amapá.

Fator	GL	QM	PQM%
Ano (A)	4	81,122 ^{ns}	27,80
Rep	5	50,768 ^{**}	21,75
Progénie (G)	33	14,095 ^{**}	39,85
GxA	132	0,938 ^{**}	10,61
Resíduo	35308	0,299	
CV		10,83857	
Média		5,045782	

^{**}, * e ^{ns}, significativos a 1% e 5% e não significativo pelo teste F, respectivamente. / ^{**}, * and ^{ns}, significatives at 1% and 5% and not significant by F test, respectively.

PQM%: porcentagem representativa na contribuição dos quadrados médios. / PQM%: representative percentage of the average squares contribution

A interação GxA original (resíduo de não aditividade), com a significância estatística permitiu a decomposição da interação GxA, para as diferentes progênies de açaizeiros e entre os anos avaliados e, com isso realizar a análise AMMI nestas características em conjunto, com a representação dos eixos PCs. Na análise AMMI (Tabela 2) o primeiro eixo principal gerado (PC1), que contém a maior porcentagem do padrão associado à interação GxA para determinada característica em estudo, compreendeu 60,1% da SQ_{GxA} pouco abaixo da variação em PC1 também obtido por Aliyu et al. (2014).

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 em progênies de açaizeiros. / **Table 2.** Percentages of the total sum of squares (SQ_{GxA}) associated with each main axis, individually (pi) and accumulated (pa) and significance of the mean squares, estimated by AMMI analysis for three characteristics in açai progénies.

	pi%	pa%	QM
PC1	60,1	60,1	0,026264 ^{**}
PC2	19,7	79,8	0,009141 ^{**}
PC3	11,5	91,3	0,005661 ^{ns}
PC4	8,7	100,0	0,004556 ^{ns}

^{**}, * e ^{ns}, significativos a 1% e 5% e não significativo pelo teste F. / ^{**}, * and ^{ns}, significatives at 1% and 5% and not significant by F test, respectively.

Pelo teste F para as características FAB, FLF e TM foram significativos os eixos PC1 e PC2, que conseguiriam explicar a parte padrão da interação GxA, com os demais eixos possivelmente constituídos em grande parte por ruídos, que iriam produzir resultados distorcidos em relação à realidade. Assim a análise foi realizada considerando o biplot com o modelo AMMI2, pois juntos os

dois primeiros termos explicaram quase 80% da totalidade da SQ_{GxA} , estando dentro do limite estabelecido por Gauch e Zobel (1988) e portanto suficientes para se explicar o comportamento genético das progênies. Este resultado indica que um modelo relativamente simples (com poucos termos multiplicativos) pode apresentar boa capacidade preditiva para o comportamento diferencial das progênies, nos anos avaliados.

Comportamento dentro do que é tido como o “padrão” associado à interação GxA para o conjunto modelo-dados analisado, onde poucos eixos são significativos, conseguindo capturar a variação em quase sua totalidade, estando próximo do citado em outros trabalhos, encontrando-se variações, como na cultura da bananeira por Tenkouano e Baiyeri (2007) e em melão Gália para produtividade por Nunes et al. (2011) onde apenas 1 eixo foi suficiente. Dois eixos em Aliyu et al. (2014). No trabalho de Oliveira et al. (2014) os dois primeiros eixos explicaram 81,2% da SQ da interação, mas 3 foram significativos. Já para Aliyu et al. (2014) em caju e para Yokomizo et al. (2016) em bananeiras para produtividade, dois eixos (PC1 e PC2), explicaram a totalidade da SQ da interação, similar ao aqui obtido.

Após a análise estatística realiza-se a plotagem gráfica, onde as progênies ou anos cujos pontos se situam mais próximos à origem do eixo PC1 no modelo AMMI1 são considerados mais estáveis (DUARTE; VENCOSKY, 1999; GUZMAN; ALEJANDRO, 2002; LAVORANTI, 2003) e no modelo AMMI2 são os pontos mais próximos da origem de ambos os eixos. Assim, nos gráficos do modelo AMMI1 apresentados na Figura 2 e, AMMI2 na Figura 3, as progênies apresentaram relativa dispersão, indicativo da presença de interação com os anos (adaptações específicas). No biplot AMMI1 (médias vs. PC1) na Figura 2, os clones mais estáveis, isto é, com menor contribuição para a interação GxA captada pelo primeiro eixo principal (PC1), mas com contribuições positivas para as médias, foram P3, P16, P17, P24 e P55, portanto, estes podem ser considerados amplamente adaptados aos anos agrícolas de avaliação, haja vista a pequena interação GxA que manifestaram em suas respostas fenotípicas, ressaltando que P17 com contribuição positiva e alta estabilidade aparente é uma progénie que se destacou, seguida por P16 e P55. Para especificidade entre anos e progênies destacaram-se, P46 para 2012; P8, P12 e P30 para 2010 e 2011, adaptados a determinados anos agrícolas de avaliação, quer dizer que reagiram de forma mais intensa a alguma variação ambiental específica que ocorreu nos anos, correspondendo, portanto a progênies que indubitavelmente não apresentam estabilidade, o que as tornam materiais indesejáveis para a seleção. Assim como em Nunes et al. (2011) para melão Gália, em maracujá-amarelo para Oliveira et al. (2014) e para Yokomizo et al. (2016) em bananeiras, onde foram observados genótipos mais estáveis e aqueles com melhor adaptabilidade específica, mais próximos do eixo PC1, observando-se também a presença daqueles com comportamento intermediário e os instáveis também. Adicionalmente sobre as progênies P4, P19, P33, P26, apesar de na Figura 2 apresentarem alta estabilidade, estas não são as mais adequadas para a seleção, pois aqui contribuíram negativamente para as médias.

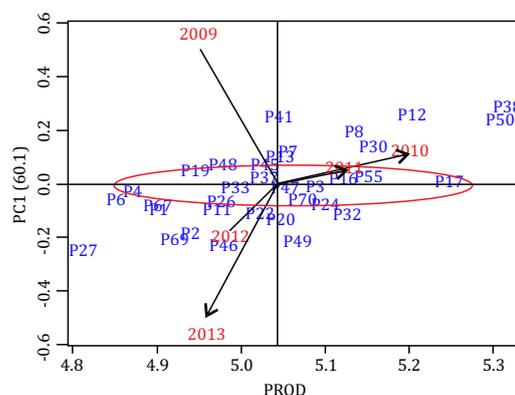


Figura 2. Biplot AMMI1, Médias (x) vs PC1 (y), com os ambientes correspondentes à anos e progênies, para multivariada de três características em 76 progênies em açaizeiros. Anos identificados numericamente e progênies identificadas como P seguido de número. / **Figure 2.** Biplot AMMI1, Averages (x) vs PC1 (y), with the environments corresponding to years and progénies, for multivariate of three characteristics in 76 açai progénies. Years identified numerically and progénies identified as P followed by number.

Convém citar que os mais produtivos tiveram contribuições significativas da interação GxA, assim como também foi detectado por Aliyu et al. (2014) e, diferindo do citado por Maia et al. (2009) onde os mais produtivos não sofreram influência significativa do ambiente. Independentemente de suas estabilidades e adaptabilidades, as progênies menos estáveis, destacaram-se por apresentar os maiores valores médios, sendo P8, P12, P38, P30 e P50, sem especificidade a qualquer ano.

No biplot AMMI2 (Figura 3), de modo geral, pôde-se ratificar o comportamento genotípico observado na análise anterior, havendo oito coincidências e dessa forma havendo a confirmação de estabilidade antes observada no modelo AMMI1, portanto nesta característica o ponto de corte do PC1, *per se* foi suficiente para que se possa inferir sobre a previsibilidade quanto ao comportamento, por tratar-se de variáveis que possivelmente sofram baixa influência ambiental que gerariam diferentes valores na interação GxA. A informação capturada pelo segundo eixo (PC2) com certeza foi útil para corrigir possíveis distorções na análise ou na interpretação produzida sob uma única dimensão. Portanto, confirma-se o comportamento estável (baixa contribuição para interação GxA) e a ampla adaptabilidade das progênies P3, P16 e P17, enquanto que as demais progênies antes estáveis, revelaram agora contribuição para a interação GxA capturada no segundo eixo principal, o que contraria sua estabilidade inicial. A estabilidade é importante para avaliar a confiabilidade da classificação dos genótipos em um determinado ambiente em relação à média geral dos ambientes, conforme afirmam Rocha et al. (2007). Somando-se como mais estáveis utilizando-se o modelo AMMI2 as progênies P7 e P32.

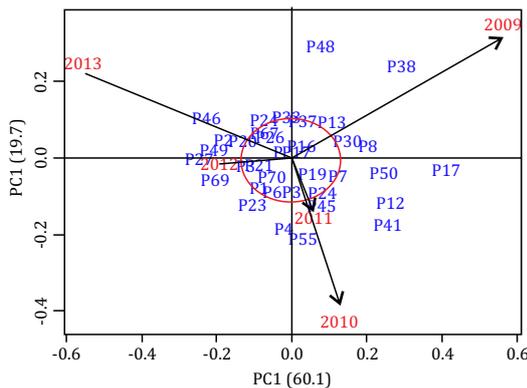


Figura 3. Biplot AMMI2, PC1 (x) vs PC2 (y), com os ambientes correspondentes à anos e progênies, para multivariada de três características em 76 progênies selecionadas pelo dendrograma em açaizeiros. Anos identificados numericamente e progênies identificadas como P seguido de número. / **Figure 3.** Biplot AMMI2, PC1 (x) vs PC2 (y), with the environments corresponding to years and progenies, for multivariate of three characteristics in 76 progenies selected by the dendrogram in açai. Years identified numerically and progenies identified as P followed by number.

No processo de agregação da informação do segundo eixo, as progênies P32, P38 e P55 que tiveram valores acima da média e apresentaram contribuições relevantes para a interação GxA nos dois eixos, agora mostraram adaptabilidades mais específicas; a primeira com 2012, a segunda com 2009 e a terceira com 2010. Devido ao comportamento da interação presente de forma mais intensa em determinadas progênies a proximidade entre determinados genótipos com ambientes também é algo comum e já citado no trabalho de Aliyu et al. (2014). Adicionalmente pode se afirmar que nenhum genótipo conseguiu simultaneamente se adaptar a todas as condições ambientais, aspecto igualmente por Aliyu et al. (2014).

Interações negativas ou positivas das progênies com determinados anos também são ratificadas no biplot AMMI2. É possível confirmar, por exemplo, a existência de baixa adaptação a determinados anos agrícolas, que puderam ser notados na análise AMMI1 e confirmados em AMMI2. Isso ocorreu porque tais progênies tiveram escores de interação de elevada magnitude nos dois eixos (instabilidade), estando distantes da origem dos eixos e, distribuíram-se em quadrantes distintos nesses anos agrícolas (Figura 3).

Os comportamentos coincidentes nos dois gráficos, conforme já reportado, indicam que o primeiro eixo conseguiu capturar a parcela mais importante do padrão da interação GxA para as características em estudo, essa distribuição é semelhante ao comportamento citado por Sethi et al. (2016), porém difere parcialmente de Oliveira et al. (2014) que no modelo AMMI2 teve a confirmação do comportamento de somente alguns genótipos, sendo estáveis apenas em AMMI1, mostrando que neste caso específico o modelo AMMI1 não é suficiente.

Os efeitos de alguns anos agrícolas avaliados individualmente em relação às progênies tenderam a contribuir mais para a interação GxA nas características. Isso pode ser constatado pela maior dispersão dos pontos ou vetores associados aos anos agrícolas em geral, em relação aos vetores associados às progênies, em ambos os biplots (médias x PC1 e; PC1 x PC2), onde essa tendência pode ser observada reiteradas vezes em outras pesquisas com espécies vegetais diferente, como no trabalho de Nunes et al. (2011), Oliveira et al. (2014) e Yokomizo et al. (2016). O que justifica segundo Aliyu et al. (2014) a condução de estudos que identifiquem fatores ambientais específicos envolvidos na manifestação desse tipo de interação nos diferentes anos de avaliação.

Adicionalmente Oliveira e Godoy (2006) sugerem que os ambientes com baixos escores de IPC (alta estabilidade) são de interesse como locais para a seleção de genótipos nas primeiras etapas de melhoramento, pois há pouca quantidade de sementes ou material de propagação, limitando a extensão dos testes para vários ambientes, baseado neste aspecto, somente as condições intrínsecas do ano 2011 foram mais promissoras (Figura 2 e 3).

Os anos foram contrastantes na análise AMMI2 (Figura 3), situando-se em quadrantes distintos, sendo indicativo de que os fatores causadores de distinção entre os anos agrícolas foram determinantes na interação associada ao primeiro eixo principal, sendo provável que essa contribuição seja decorrente das diferenças climáticas e de manejo associado ao estágio fenológico das plantas de açaizeiro, exceto apenas entre 2010 e 2011. Diferindo do que é citado por Aliyu et al. (2014) onde houve a tendência de serem mais semelhantes entre si.

Com os resultados observados nas Tabelas e Figuras, devido à dispersão das progênies e a ausência de adaptabilidade específica em geral, há indicativo da necessidade de desenvolvimento de uma tecnologia de produção eficiente integrada adaptada para as peculiaridades fisiológicas e ecológicas da espécie. Semelhantemente ao citado por Aliyu et al. (2014) de que há a exigência de tecnologias adaptadas para ótima resposta da planta para as especificidades de cada ambiente, além do desenvolvimento de diferentes genótipos de açaizeiros.

Conclusões

Em quantitativo elevado de progênies o uso combinado do agrupamento pelo dendrograma e posteriormente com o material selecionado com a análise gráfica AMMI torna-se extremamente eficiente para as análises de estabilidade e adaptabilidade.

Há evidente variabilidade genética, pois existem progênies e com contribuições individuais distintas para a interação GxA, assim como também os efeitos ambientais, importante para o melhoramento genético.

As progênies com maior destaque para estabilidade e adaptabilidade foram P3, P16 e P17, somando-se com o modelo AMMI2 as progênies P7 e P32. Expandindo-se com o retorno ao dendrograma para as progênies P21, P22, P36, P51, P54, P72, P73 e P76.

O diferente comportamento entre anos das progênies mostra que com o desenvolvimento das plantas aos fatores ambientais há resposta conforme o estágio de desenvolvimento fenológico, tornando importante as pesquisas para se conhecer as exigências e respostas do açaizeiro.

Referências bibliográficas

- 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**, v. 2, n. 4, p. 354-369, 2014.
- CARVALHO, A. V.; SILVEIRA, T. F. F.; MATTIETTO, R. A.; OLIVEIRA, M. S. P.; GODOY, H. T. Chemical composition and antioxidant capacity of açai (*Euterpe oleracea*) genotypes and commercial pulps. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 97, p. 1467-1474, 2017.
- CLIMATE-DATA.ORG **Clima Mazagão**. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/amapa/mazagao-33758/#climate-graph>. Acesso em: 11 jan 2020.
- COMEX DO BRASIL. **No Pará, produção de açai deve ter mais assistência técnica e investimentos, informa o Mapa**. 2017. Disponível em: <https://www.comexdobrasil.com/no-para-producao-de-acai-dever-ter-mais-assistenciatecnica-e-investimentos-informa-o-mapa/>. Acesso em:
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético** (3. ed.). Viçosa: 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.; VENCOSKY, R. **Interação genótipos x ambientes: uma introdução à análise AMMI**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1999.
- FARIAS NETO, J. T. de; YOKOMIZO, G. K. I.; OLIVEIRA, M. do S. P. de; HONGYU, K. GGE Biplot para estabilidade e adaptabilidade em progênies de açaizeiro de Anajás, PA. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 12, n. 1, p. 409-417, 2018.
- 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.
- GAUCH, H. G.; ZOBEL, R. W. Predictive and postdictive success of statistical analysis of yield trials. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 76, n. 1, p. 1-10, 1988.
- GOMES JUNIOR, R. A.; GURGEL, F. de L.; PEIXOTO, L. de A.; BHERING, L. L.; CUNHA, R. N. V. da; LOPES, R.; PINA, A. J. de A.; VEIGA, A. S. Evaluation of interspecific hybrids of palm oil reveals great genetic variability and potential selection gain. **Industrial Crops and Products**, v. 52, p. 512-518, 2014.
- GUZMAN, P. S.; ALEJANDRO, F. R. **Searching for better white corn genetics for marginal uplands in the Philippines**. Proceedings of the 8th Asian Regional Maize Workshop, Bangkok; Thailand, 2002. p. 156-164.
- IBGE **Produção Agrícola Municipal – PAM**, 2018. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613>. Acesso em: 13 abr 2020
- KARIMZADEH, R.; ASGHARI, A.; CHINIPARDAZ, R.; SOFALIAN, O.; GHAFFARI, A. Determining yield stability and model selection by AMMI method in rain-fed durum wheat genotypes. **Turkish Journal of Field Crops**, 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 Agronômica) – 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**, v. 39, n. 1, p. 43-50, 2009
- MALOSSETTI, 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**, v. 4, article 44, 2013.
- MENEZES, E. M. S. **Efeito da alta pressão hidrostática em polpa de açai pré-congelada (*Euterpe oleracea*, Mart.)**. Dissertação de Mestrado (Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2005; 83p.
- MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada** (3. ed.). Belo Horizonte: Editora UFMG, 2013. 297p.
- MOURA ROCHA, S. M. B. de. Benefícios funcionais do açai na prevenção de doenças cardiovasculares. **Journal of Amazon Health Science**, v. 1, n. 1, p. 1-10, 2015.
- 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 açai (*Euterpe oleracea* Mart.) and bacaba (*Oenocarpus bacaba* Mart.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 3, p. 729-738, 2015.
- NOGUEIRA, A. K. M.; SANTANA, S. C. de; GARCIA, W. S. A dinâmica do mercado de açai fruto no Estado do Pará: de 1994 a 2009. **Revista Ceres**, 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**, 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 Agrícola**, 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**, v. 6, p. 311-317, 2006.
- PAGLIARUSSI, M. S. **A cadeia produtiva agroindustrial do açai: estudo da cadeia e proposta de um modelo matemático**. Monografia. Universidade de São Paulo. São Carlos - SP: 2010; 66p.
- PESSOA, J. D. C.; TEIXEIRA, G. H. de A. **Tecnologias para inovação nas cadeias euterpe**. Brasília, DF: Embrapa, 343p., 2012.
- 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 2020.
- RESENDE, M. A. V.; FREITAS, J. A.; LANZA, M. A.; RESENDE, M. D. V.; AZEVEDO, C. F. Divergência genética e índice de seleção via BLUP em acessos de algodoeiro para características tecnológicas da fibra. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 3, p. 334-340, 2014.
- 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**, v. 42, p. 1283-1289, 2007.
- RODRIGUES, E. C. N.; RIBEIRO, S. da C.; SILVA, F. L. da. Influência da cadeia produtiva do açai (*Euterpe oleracea* Mart.) na geração de renda e fortalecimento de unidades familiares de produção, Tomé Açú-PA. **Observatorio de la economía Latinoamericana**, n. 210, 2015a.
- RODRIGUES, P. L.; ALVES FILHOS, P. P. C.; GOMES, A. A. C.; SILVA, J. L. da; LIMA, D. A. **Atividades desenvolvidas pelas famílias no extrativismo do açai (*Euterpe oleracea* Mart.) em Ponta de Pedras-PA**. 2015. CONTECC, Fortaleza, CE, p.4, 2015b.
- SCHRECKINGER, M. E.; LOTTON, J.; LILA, M. A.; de MEJIA, E. G Berries from South America: a comprehensive review on chemistry, health potential, and commercialization. **Journal of Medicinal Food**, v. 13, n. 2, p. 233-246, 2010.
- SETHI, K.; TRIPATHY, P.; MOHAPATRA, K. C. Variability and heritability of important quantitative characters in cashew (*Anacardium occidentale* L.). **Environment & Ecology**, v. 34, n. 4, p. 1795-1798, 2016.
- SILVA, A. C. D.; SMIDERLE, O. J.; OLIVEIRA, J. M. F.; SILVA, T. J. Tamanho da semente e substratos na produção de mudas de açai. **Advances in Forestry Science**, v. 4, n. 4, p. 51-156, 2017.
- SILVESTRE, W. V. D.; PINHEIRO, H. A.; SOUZA, R. O. R. M.; PALHETA, L. F. Morphological and physiological responses of açai seedlings subjected to diferente watering regimes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 4, p. 364-371, 2016.
- SOUZA, M. O.; SANTOS, R. C.; SILVA, M. E.; PEDROSA, M. L. Açai (*Euterpe oleracea* Martius): chemical composition and bioactivity. **Nutrire: Revista Sociedade Brasileira de Alimentação e Nutrição**, v. 36, n. 2, p.161- 169, 2011.
- TAVARES, G. dos S.; HOMMA, A. K. O. **Comercialização do açai no Estado do Pará: Alguns comentários**. **Revista Observatorio de la Economía Latino americana, Brasil**, n. 211, 2015. Disponível em: < https://www.embrapa.br/amazonia-oriental/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1031486/comercializacao-do-acai-no-estado-do-para- alguns-comentarios >
- 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.
- VENTURA, H. T.; LOPES, P. S.; PELOS, J. V.; GUIMARÃES, S. E. F.; CARNEIRO, A. P. S.; CARNEIRO, P. L. S. Use of multivariate analysis to evaluate genetic groups of pigs for dry-cured ham production. **Livestock Science**, v. 148, p. 214-220, 2012.
- YAMAGUCHI, K. K. L.; PEREIRA, L. F. R.; LAMARÃO, C. V.; LIMA, E. S.; VEIGA-JÚNIOR, V.F. Amazon acai: Chemistry and biological activities: A review. **Food chemistry**, v. 179, p. 137-151, 2015.
- YOKOMIZO, G. K. I.; FARIAS NETO, J. T. de; OLIVEIRA, M. do S. P. de Ganho esperado na seleção de progênies de polinização aberta de *Euterpe oleracea* para produção de frutos. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 109, p. 241-248, 2016a.
- YOKOMIZO, G. K. I.; MOCHIUTTI, S.; QUEIROZ, J. A. L. de; SANTOS, G. R. dos; FURTADO, R. G.; BRANDÃO, A. P.; COLARES, I. B. Estimativas de parâmetros genéticos para caracteres de frutos em açaizeiros no Amapá. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 3, p. 985-993, 2016b.