



ARTIGO ORIGINAL

Gilberto Ken-Iti Yokomizo^{1,2,3*}
Jurema do Socorro Azevedo Dias¹
Carlos Tadeu dos Santos Dias⁴
Kuang Hongyu⁵

Análise AMMI em caracteres vegetativos de genótipos de bananeiras no Amapá

AMMI analysis on vegetative characters from banana genotypes in Amapá

- ¹ Embrapa Amapá, Rodovia JK, km 05, 2600, 68903-419, Macapá, AP, Brasil
² Universidade Federal do Amapá – UNIFAP, Pós-graduação de Mestrado em Desenvolvimento Regional – PPGMDR, Rodovia Juscelino Kubitschek, km 02, 68900-419, Macapá, AP, Brasil
³ Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia – BIONORTE, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCT, Rodovia Juscelino Kubitschek, km 02, 68900-419, Macapá, AP, Brasil
⁴ Universidade de São Paulo – USP, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ, Departamento de Ciências Exatas – LCE, Avenida Pádua Dias, 11, 13418-900, Piracicaba, SP, Brasil
⁵ Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, Departamento de Estatística, Avenida Fernando Corrêa da Costa, 2367, Bairro Boa Esperança, 78060-900, Cuiabá, MT, Brasil

*Autor Correspondente:

E-mail: gilberto.yokomizo@embrapa.br

PALAVRAS-CHAVE

Musa spp.
Interação genótipo-ambiente
Análise de componentes principais
Biplot

KEYWORDS

Musa spp.
Genotype-environment interaction
Principal components analysis
Biplot

RESUMO: A bananicultura representa importante cadeia econômica no Estado, mas quase a totalidade dos frutos é proveniente de outras localidades, tornando-se necessário o desenvolvimento regional. Desta forma o objetivo deste trabalho foi avaliar, em Porto Grande-AP, o desempenho produtivo de cinco cultivares de bananeira, resistentes à Sigatoka-negra que tem inviabilizado a produção regional. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com cinco tratamentos e quatro repetições. Foram avaliados: número da folha mais jovem infectada (FMJI); altura da planta do nível do solo à inserção da inflorescência (APL), circunferência do pseudocaule a 30 cm de altura do solo (CPL); número de folhas viáveis (NFV) e; número total de folhas na planta (NFP). Como principais resultados, obteve-se na análise de variância a dominância de anos nas fontes de variação em NFV, ALT e CPL, sendo que para FMJI e NEP foram os ruidos. Na análise AMMI os eixos IPCA1 e IPCA2 explicaram a totalidade da $SQ_{G \times E}$. Os genótipos mais estáveis no biplot AMMI foram G3 e G5 para FMJI; G1 para CPL e; G2 para NFV e os com especificidade adaptativa a determinados ambientes foram G1 e G4 para FMJI; G2 e G3 para CPL e; G1, G3, G4 e G5 para NFV. Os ambientes avaliados individualmente tiveram maior contribuição na interação GxE do que os genótipos e também foram contrastantes em AMMI2, indicativo de que fatores relativos às diferenças entre os anos agrícolas foram determinantes na interação associada ao IPCA1.

ABSTRACT: The banana culture is an important economic chain in the state, but almost all the fruit comes from other locations, making it necessary regional development. Therefore, the objective of this study was to evaluate, in Porto Grande-AP, the five banana cultivars performance with resistant to black sigatoka that has made impossible the regional production. The experimental design was randomized blocks with five treatments and four replications. Were evaluated: number of the youngest leaf infected (FMJI), plant height (APL), pseudostem circumference (CPL), number of viable leaves (NFV); total number of leaves on the plant (NFP). The main results obtained that occurred dominance of the years in the variation sources in variance analysis of in NFV, ALT and CPL, and for FMJI and NEP were the errors. AMMI analysis in the IPCA1 and IPCA2 axes explained the entire $SQ_{G \times E}$. The most stable genotypes in the biplot AMMI were G3 and G5 to FMJI; G1 for CPL; G2 for NFV and with adaptive specificity to certain environments were G1 and G4 for FMJI; G2 and G3 for CPL and; G1, G3, G4 and G5 to NFV. The environments individually evaluated had a higher contribution in GxE interaction than genotypes and were also contrasting in AMMI2, indicating that factors related to the differences between crop years were determinant in the interaction associated with IPCA1.

1 Introdução

A bananeira (*Musa spp.*) é uma planta de grande importância econômica e social em diversos países do mundo, com o mais alto índice de consumo per capita entre as frutas tropicais. Mundialmente é cultivada em mais de 150 países tropicais e subtropicais, principalmente por pequenos agricultores, somando aproximadamente 105 a 120 milhões de toneladas de frutas frescas, numa área colhida de 4 milhões de hectares (UNCTAD, 2015). O Brasil é o segundo maior produtor mundial de banana, com uma produção entre 7,18 e 7,33 milhões de toneladas, e rendimento de US\$ 997 milhões em uma área cultivada de 504.248 ha (FAOSTAT, 2015; IBGE, 2014). O mercado interno consome praticamente toda a produção nacional, com um consumo per capita de 31,1 kg/ano (FAOSTAT, 2015), desta forma o volume de exportação é baixo, um aumento de produção seria interessante para aumentar a participação nacional no comércio exterior, porém há dificuldades associadas principalmente quanto a falta de técnicas adequadas para o cultivo e à problemas relacionados à fitossanidade, como as doenças e pragas, podendo gerar perdas de até 100% dos frutos em algumas lavouras (Silva et al., 2002).

Existe também a falta de variedades comerciais de banana que sejam produtivas e que possuam porte adequado, resistência às principais pragas e doenças, adaptação aos diferentes ecossistemas e ampla aceitação pelos consumidores, para uma maior expansão da cultura (Silva et al., 2000; Donato et al., 2006). A baixa opção de materiais genéticos diferentes deve-se ao plantio pouco diversificado em termos genéticos, abrangendo principalmente as cultivares Prata e Maçã, suscetíveis a diversas doenças. A sigatoka-negra, causada por *M. fijiensis* Morelet, principal problema da bananicultura mundial, constitui fator limitante para a cultura, notadamente na Região Norte do Brasil. Uma estratégia para viabilizar a bananicultura nessa região é o desenvolvimento de novas cultivares mais produtivas e resistentes, mediante o melhoramento genético, cuja etapa final do processo consiste na avaliação dos genótipos em diferentes regiões produtoras (Rodrigues et al., 2006).

No Amapá, assim como em outros Estados da Região Norte, a Sigatoka-Negra, também passou a estar presente nas principais áreas produtoras de banana, tendo sido registrada no ano de 2000, na área de Assentamento Nova Vida, no município de Tartarugalzinho, logo após as ocorrências nos estados de Rondônia e Mato Grosso, em 1999. Desde aquele ano, a doença encontra-se disseminada por todas as áreas de produção de banana, causando perdas em cerca de 100% das cultivares exploradas comercialmente (Dias, 2001).

No momento em que surgem novas cultivares faz-se necessária a verificação do comportamento em novos ambientes, pois pode existir um comportamento diferencial das cultivares frente às variações ambientais denominado de interação genótipos x ambientes (GxA) e a bananeira também sofre estes efeitos, os quais podem dificultar a seleção de genótipos com adaptação ampla ou estáveis. Visando a obtenção de informações pormenorizadas sobre o comportamento dos genótipos sob efeito deste tipo de interação, métodos de adaptabilidade e estabilidade tornam-se extremamente importantes e necessários (Cruz et al., 2004), pois as mesmas proporcionam informações sobre o comportamento de cada genótipo frente às variações

ambientais. Estas análises possibilitam a identificação de cultivares de comportamento previsível e que respondam às variações ambientais, em condições específicas ou amplas.

Uma ferramenta que vem sendo muito utilizada com sucesso nesse tipo de avaliação é a chamada análise AMMI (“Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Model”), sendo que Duarte & Vencovsky (1999) preconizam o método como uma alternativa viável para a interpretação e compreensão dos diferentes padrões de interação GxE. Esta recomendação é apoiada, sobretudo, no fato de a análise permitir a eliminação de ruídos indesejáveis presentes nos dados, além daqueles já expurgados em análises convencionais. O descarte destes ruídos permite caracterizar melhor os fatores genéticos e ambientais envolvidos na interação GxE e, assim, propiciar melhores estimativas das respostas genotípicas nos diferentes ambientes (Duarte, 2001). O procedimento AMMI é também uma ferramenta apropriada para diagnóstico, em situações em que a interação significativa é acompanhada por não significância dos efeitos aditivos principais, de genótipos e ambientes, ou, quando a estrutura da interação é influenciada por valores anômalos (*outliers*) (Shafii & Price, 1998).

Com os resultados obtidos da análise AMMI pode-se gerar uma representação gráfica dos genótipos e dos ambientes, em diagrama de dispersão multivariado (biplot). Isto é importante na sumarização dos dados e para facilitar a interpretação das relações de similaridade e de complementaridade entre e dentro de genótipos e ambientes. Assim, a representação gráfica e simultânea de cada genótipo e ambiente fornece 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. Segundo Lavoranti (2003), a representação dos dados em biplot é uma técnica bastante útil na análise de componentes principais, pois pode indicar a existência de agrupamentos entre as observações, assim como mostrar as variâncias e correlações entre as variáveis.

Com base nestas informações o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da interação GxE sobre caracteres de desenvolvimento vegetativo de bananeiras, com base na análise AMMI, possibilitando a diferenciação do comportamento entre os diferentes genótipos e anos de avaliações. Sendo o primeiro artigo a apresentar este tipo de análise em *Musa spp.* no Brasil, podendo servir como parâmetro comparativo em trabalhos futuros, além de fornecer informações importantes aos pesquisadores.

2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido em área de produção, no período de agosto de 2002 a setembro de 2005, na Colônia Agrícola do Matapi, no município de Porto Grande, no Estado do Amapá, AP, Brasil. O clima predominante deste local é do tipo Ami. É caracterizado como tropical chuvoso com pequeno período seco e temperatura média mensal superior a 18°C, constituindo habitat da vegetação megatérmica e onde a oscilação anual de temperatura, de modo geral, é sempre inferior a 5°C. O regime pluviométrico anual define uma estação relativamente seca, porém, com total pluviométrico anual suficiente para manter este período acima de 1.900 mm. O estudo foi desenvolvido

em ecossistema de Terra Firme, em meio à vegetação do tipo Floresta equatorial subperenifólia. (Oliveira Júnior & Melém Júnior, 2000).

Os tratamentos foram constituídos pelas cultivares Caipira, Thap Maeo, PV03-44, FHIA-01 e FHIA-18 (Tabela 1), o espaçamento utilizado entre plantas foi de 3 × 3 m, com delineamento experimental em blocos casualizados e quatro repetições. Cada repetição foi constituída por nove plantas, descartando-se as três de cada extremidade e considerando-se como úteis as três plantas situadas no centro da parcela.

As avaliações foram realizadas para as seguintes características: número da folha mais jovem infectada (FMJI); altura da planta do nível do solo à inserção da inflorescência (APL), circunferência do pseudocaule a 30 cm de altura do solo (CPL); número de folhas viáveis (NFV) e; número total de folhas na planta (NFP).

O tratamento estatístico dos dados, incluindo-se análises de variância individuais e conjunta, considerando-se os ambientes como os três anos agrícolas de avaliações, bem como a análise de estabilidade e adaptabilidade via modelo AMMI, foi realizado utilizando-se os procedimentos GLM e IML do aplicativo computacional SAS (Statistical Analysis System) (SAS/STAT, 1998).

A análise AMMI, descrita detalhadamente em Duarte & Vencovsky (1999), baseia-se no seguinte modelo (Equação 1):

$$Y_{ij} = \mu + g_i + e_j + \sum_{k=1}^n \lambda_k \gamma_{ik} \alpha_{jk} + \rho_{ij} + \bar{\varepsilon}_{ij} \quad (1)$$

em que:

Y_{ij} é a resposta média das repetições do i -ésimo genótipo ($i = 1, 2, 3, \dots, g$) no j -ésimo ano ($j = 1, 2, 3, \dots, e$);

μ é a média de todos os genótipos em todos os anos (média geral);

g_i é o efeito principal do genótipo “ i ”;

e_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 $GE_{g \times e} = \{(ge)_{ij}\}$, que expressam e capturam o “padrão” associado à interação do genótipo “ i ” com a ano “ j ”, sendo $(ge)_{ij}$ os desvios de aditividade dos dados (Y_{ij}) em relação aos efeitos principais g_i e e_j ;

ρ_{ij} é o ruído adicional a ser eliminado na análise, relativamente ao termo $(ge)_{ij}$ tomado tradicionalmente como a própria interação; e $\bar{\varepsilon}_{ij}$ 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 genótipos e anos), são ajustados por análise de variância (ANOVA), resultando em um resíduo de não aditividade: $(g\hat{e})_{ij} = Y_{ij} - \bar{Y}_i - \bar{Y}_j + \bar{Y}$, isto é, nas estimativas de quadrados mínimos ordinários de $(ge)_{ij}$; 2ª) a interação (parte multiplicativa do modelo) é ajustada mediante DVS ou ACP aplicada à matriz $GE_{g \times e} = \{(g\hat{e})_{ij}\}$, resultando numa porção denominada “padrão” (a interação propriamente dita – interação AMMI), e outra 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 & Zobel (1988), levando-se em consideração a proporção da soma de quadrados da interação original ($SQ_{G \times E}$) acumulada até o n -ésimo eixo: $\sum_{k=1}^n \lambda_k^2 / SQ_{G \times E}$. Dessa forma, o ponto de parada que determina a seleção do modelo na família de modelos AMMI (AMMI0, AMMI1, ..., AMMI n), foi obtido com base na significância dos testes F_{Gollub} , para os sucessivos termos de interação, sendo obtido pela significância de cada componente relacionado ao QM erro médio dos eixos IPCA a serem retidos no modelo. Neste método, o cálculo dos graus de liberdade são dados por: $GL_{IPCA_n} = g + e - 1 - 2n$, onde g é o número de genótipos, e é o número de anos e n o número de eixos ou componente principais da matriz de interação. Esse teste distribui os graus de liberdade às Somas de Quadrados $SQ_k = \lambda_k^2$ com $k=1, 2, \dots$; p e r o número de repetições, contando o número de parâmetros no k -ésimo termo multiplicativo. Logo o teste F é calculado como na análise de variância para modelos lineares e supões a hipótese nula que. O numerador e o denominador da estatística F são distribuídos independentemente como uma variável qui-quadrado (Cornelius et al., 1996). O ponto de parada para seleção do modelo é o n -ésimo componente principal da interação significativo pelo teste F, segundo Gollob (1968).

3 Resultados e Discussão

A análise de variância, contendo decomposição da interação GxE, para os diferentes anos e genótipos de bananeiras, revelou diferenças significativas na interação GxE, indicando a possibilidade de se selecionar genótipos superiores e que os anos de teste foram consideravelmente discrepantes na expressão dos caracteres FMJI, NVF e CPL (Tabela 2). Os anos dominaram a variação associada aos tratamentos (combinação de genótipos e anos) e representaram entre 36,63 e 56,16% para NFV, ALT e CPL, enquanto que para FMJI e NEP houve maior contribuição de ruídos com 25,23 e 40,06% de sua soma de quadrados, respectivamente. Os genótipos apresentaram menores contribuições para a variação observada, com valores entre 19,08 a 36,05%, quando significativos e abaixo de 5% quando não houve diferenças significativas, indicio de uma base genética estreita nos genótipos testados de bananeiras para as condições deste experimento, sendo sempre inferiores aos efeitos ambientais. Por último, a interação GxE original (resíduo de não aditividade), também significativa ($p < 0,05$), correspondeu a apenas 4,82 a 9,73% restantes para os caracteres FMJI, NVF e CPL, mas devido a significância permitiu a decomposição da interação GxE, para os diferentes genótipos de bananeiras e entre as anos avaliadas e, com isso que fosse

Tabela 1. Identificação dos genótipos de banana, Porto Grande, Amapá, safras 2002 a 2005.

Table 1. Identification of banana genotypes, Porto Grande, Amapá, harvests 2002-2005.

Identificação	Genótipo
G1	Fhia 1
G2	Fhia 18
G3	PV 0344
G4	Thap Maeo
G5	Caipira

realizada a análise AMMI nestes três caracteres (Tabela 2). Um aspecto importante a ser considerado que para outros caracteres estudados por Ortiz (1998), De Cauwer & Ortiz (1998) e Baiyeri et al. (2000) os resultados foram divergentes, cujo ano teve maior contribuição do que genótipos.

O primeiro eixo principal gerado pela análise AMMI (IPCA1), que contém a maior porcentagem do padrão associado à interação GxE para o caráter em estudo, compreendeu 89,01, 95,73 e 68,08% da SQ_{GxE} para FMJI, NFV e CPL, respectivamente (Tabela 3). Esta proporção, obtido pelo posto da matriz GxE que foi de posto dois nos caracteres FMJI e NFV, encontra-se próximo do observado por De Cauwer e Ortiz (1998) e acima da variação comumente observada, conforme os resultados apresentados por Ortiz (1996 e 1998), Baiyeri et al. (2000) e Tenkouano & Baiyeri (2007). Mas caso tivessem sido observados um maior quantitativo de IPCAs significativos este valor seria diferente.

Isso indica que, para os caracteres FMJI e NFV, nas condições avaliadas, quase a totalidade da variação relacionada aos desvios de aditividade dos efeitos principais (genótipos e anos) pode ser capturada pelo primeiro componente principal de interação. Além disso, o resultado também indica que um modelo relativamente simples (com poucos termos multiplicativos) pode apresentar boa capacidade preditiva para o comportamento diferencial dos genótipos, nos anos

avaliados, neste caso podendo-se incluir o caráter CPL com valor de 68,08%.

Pelo teste F_{Gollub} apenas o IPCA1 foi significativo, logo só IPCA1 explica a parte padrão da interação GxE, como IPCA2 não foi significativo, possivelmente seja constituído em grande parte por ruídos, mas mesmo assim a análise foi realizada considerando o biplot com o modelo AMMI2, devido ao motivo de que juntos os dois primeiros termos explicaram a totalidade da SQ_{GxE} comportamento acima do que é tido como o “padrão” associado à interação GxE para o conjunto modelo-dados analisado. Nessa abordagem, não há eixos adicionais para a descrição da interação GxE, por serem constituídos de ruídos em sua totalidade (Tabela 3). O número de eixos principais retidos para explicar e representar graficamente o padrão de interação GxE pode ser variável e com a cultura da bananeira foram obtidos por Tenkouano & Baiyeri (2007) apenas 1 eixo, em Ortiz (1996; 1998), De Cauwer & Ortiz (1998) e Baiyeri et al (2000) com dois eixos, semelhante ao observado neste artigo.

Os genótipos ou anos cujos pontos se situam mais próximos à origem do eixo IPCA1 no modelo AMMI1 são considerados mais estáveis (Duarte & Vencovsky, 1999; Guzman & Alejandro, 2002; Lavoranti, 2003) e no modelo AMMI2 são os pontos mais próximos da origem de ambos os eixos. Assim, nos gráficos dos modelos AMMI1 (Figuras 1, 2 e 3) e AMMI2 (Figuras 4, 5 e 6) para todos os caracteres, observa-se que

Tabela 2. Resumo da análise de variância e quadrados médios associados ao desdobramento do efeito de interação GxE para cinco caracteres^a em bananeiras, nos anos agrícola 2002 a 2005. Porto Grande, Amapá.

Table 2. Analysis of variance summarized and mean square associated with the split of the interaction effect from GxE for five characters^a in banana plants, in the agricultural years 2002-2005. Porto Grande, Amapá.

FV	GL	FMJI	NFP	NFV	ALT	CPL
Amb (A)	2	120,867**c	126,817**	76,317**	6,114**	1593,188**
Rep/A	9	52,083**	37,453 ^{ns}	14,083**	0,182 ^{ns}	78,930 ^{ns}
Gen (G)	4	3,317 ^{ns}	16,558 ^{ns}	1,892 ^{ns}	1,039**	739,726**
GxA	8	12,804*	19,171 ^{ns}	5,067*	0,111 ^{ns}	49,430*
IPCA1 ^b	5	4,559*	-	1,380 ^{ns}	-	18,927**
IPCA2 ^b	3	0,938 ^{ns}	-	1,078 ^{ns}	-	1,408 ^{ns}
Resíduo	45	6,194	12,033	1,982	0,064	21,223
CV		58,106	14,931	11,471	8,850	6,757
Média		4,2833	23,3333	12,273	2,850	68,177

a: número da folha mais jovem infectada (FMJI); altura da planta do nível do solo à inserção da inflorescência (APL); circunferência do pseudocaule a 30 cm de altura do solo (CPL); número de folhas viáveis (NFV) e; número total de folhas na planta (NFP); b: **, * e ns, significativos a 1% e 5% e não significativo pelo teste F_{Gollub} ; c: **, * e ns, significativos a 1% e 5% e não significativo pelo teste F.

Tabela 3. Autovalores (λ_k^2) e porcentagens da soma de quadrados total (SQ_{GxE}) associada a cada eixo principal, individualmente (PI) e acumulada (PA), estimados por análise AMMI para três caracteres^a em bananeiras, nos anos agrícola 2002 a 2005. Porto Grande, Amapá.

Table 3. Eigenvalues (λ_k^2) and percentages of the total sum of squares (SQ_{GxE}) associated with each main axis individually (PI) and cumulative (PA), estimated by AMMI analysis for three characters^a in banana plants, in the agricultural years 2002-2005. Porto Grande, Amapá.

		λ_k	IPCA1	IPCA2
FMJI	PI	22,7944	89,01	10,99
	PA	2,8139	89,01	100,00
CPL	PI	94,6349	95,73	4,27
	PA	4,2246	95,73	100,00
NFV	PI	6,8985	68,08	31,92
	PA	3,2349	68,08	100,00

a: número da folha mais jovem infectada (FMJI); circunferência do pseudocaule a 30 cm de altura do solo (CPL) e; número de folhas viáveis (NFV).

os genótipos apresentaram relativa dispersão, sendo indicio de interação com os anos (adaptações específicas). No biplot AMMI1 (médias vs. IPCA1), verificou-se que os genótipos mais estáveis, isto é, com menor contribuição para a interação GxE captada pelo primeiro eixo principal (IPCA1), foram: G3 e G5 para FMJI (Figura 1), G1 para CPL (Figura 2) e G2 para NFV (Figura 3). Portanto, para cada caráter houve presença de diferente(s) genótipo(s) mais estável(is) e estes podem ser considerados amplamente adaptadas aos anos agrícolas de avaliação, haja vista a pequena interação GxE que manifestaram em suas respostas fenotípicas. Entre estes, independentemente de suas estabilidades e adaptabilidades, os genótipos G5 em FMJI, G1 em CPL e G2 para NFV, destacaram-se por apresentar efeitos genotípicos médios (efeito principal aditivo) de maior

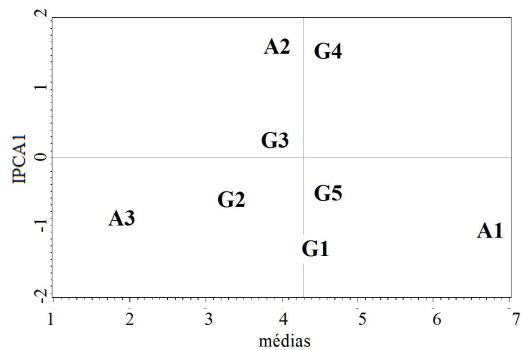


Figura 1. Biplot AMMI1, Médias (x) vs IPCA1 (y), com os ambientes correspondentes à anos e genótipos, para Folha Mais Jovem Infectada (FMJI) em cinco genótipos de banana. Porto Grande, safras 2002 a 2005. Letras G correspondentes aos genótipos e A correspondentes aos Anos (identificação na Tabela 1).

Figure 1. Biplot AMMI1, Means (x) vs IPCA1 (y), with the environments corresponding to the years and genotypes, for number of the youngest leaf Infected (FMJI) in five banana genotypes. Porto Grande, harvests 2002 to 2005. Letters G corresponding to genotypes and A corresponding to Years (identification in Table 1).

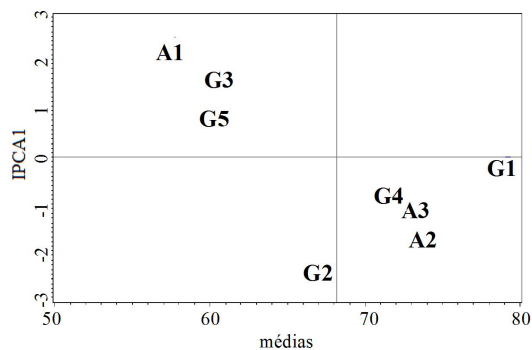


Figura 2. Biplot AMMI1, Médias (x) vs IPCA1 (y), com os ambientes correspondentes à anos e genótipos, para Circunferência do Pseudocaule (CPL) em cinco genótipos de banana. Porto Grande, safras 2002 a 2005. Letras G correspondentes aos genótipos e A correspondentes aos Anos (identificação na Tabela 1).

Figure 2. Biplot AMMI1, Means (x) vs IPCA1 (y), with the environments corresponding to the years and genotypes, for pseudostem circumference (CPL) in five banana genotypes. Porto Grande, harvests 2002 to 2005. Letters G corresponding to genotypes and A corresponding to Years (identification in Table 1).

magnitude, sendo estes os com valores médios superiores para as respectivas características.

Esses dados podem ser constatados pela proximidade das representações gráficas dos citados genótipos próximos à origem do eixo IPCA1 (Figura 1, 2 e 3). Já os genótipos G1 e G4 no caráter FMJI (Figura 1), G2 e G3 no caráter CPL (Figura 2) e G1 e G1, G3, G4 e G5 no caráter NFV (Figura 3), de maneira contrária, apresentaram especificidade adaptativa a determinados anos agrícolas de avaliação.

No biplot AMMI2 (Figuras 4, 5 e 6), de modo geral, pôde se ratificar o comportamento genotípico observado na análise anterior. Isso significa que o primeiro eixo principal de interação (IPCA1) capturou grande parte do padrão da interação GxE presente nos caracteres. Entretanto, apesar de não ter havido

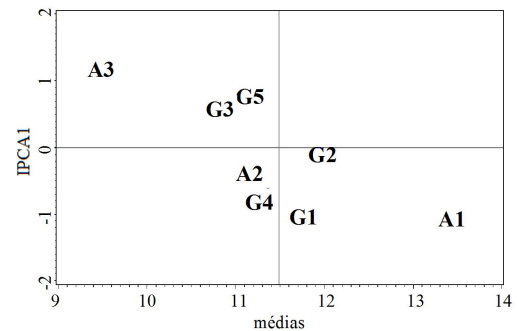


Figura 3. Biplot AMMI1, Médias (x) vs IPCA1 (y), com os ambientes correspondentes à anos e genótipos, para Número de Folhas Viáveis (NFV) em cinco genótipos de banana. Porto Grande, safras 2002 a 2005. Letras G correspondentes aos genótipos e A correspondentes aos Anos (identificação na Tabela 1).

Figure 3. Biplot AMMI1, Means (x) vs IPCA1 (y), with the environments corresponding to the years and genotypes, for number of viable leaves (NFV) in five banana genotypes. Porto Grande, harvests 2002 to 2005. Letters G corresponding to genotypes and A corresponding to Years (identification in Table 1).

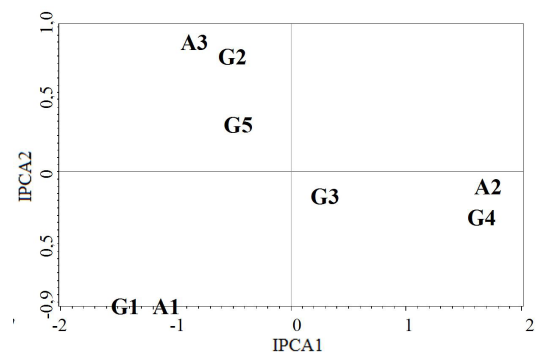


Figura 4. Biplot AMMI2, IPCA1 (x) vs IPCA2 (y), sendo os ambientes correspondentes à anos e genótipos, para Folha Mais Jovem Infectada (FMJI) de cinco genótipos de banana. Porto Grande, safras 2002 a 2005. Letras G correspondentes aos genótipos e A correspondentes aos Anos (identificação na Tabela 1).

Figure 4. Biplot AMMI2, IPCA1 (x) vs IPCA2 (y), with the environments corresponding to the years and genotypes, for number of the youngest leaf Infected (FMJI) in five banana genotypes. Porto Grande, harvests 2002 to 2005. Letters G corresponding to genotypes and A corresponding to Years (identification in Table 1).

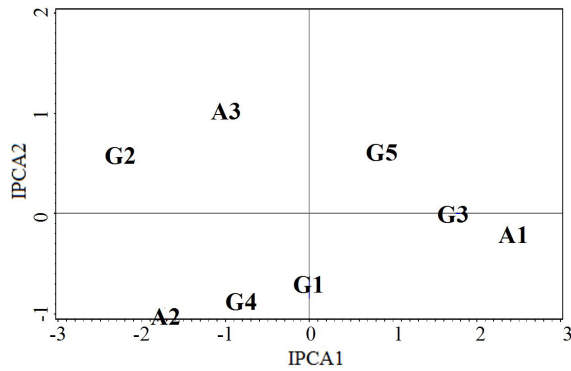


Figura 5. Biplot AMMI2, IPCA1 (x) vs IPCA2 (y), sendo os ambientes correspondentes à anos e genótipos, para Circunferência do Pseudocaulo (CPL) de cinco genótipos de banana. Porto Grande, safras 2002 a 2005. Letras G correspondentes aos genótipos e A correspondentes aos Anos (identificação na Tabela 1).

Figure 5. Biplot AMMI2, IPCA1 (x) vs IPCA2 (y), with the environments corresponding to the years and genotypes, for pseudostem circumference (CPL) in five banana genotypes. Porto Grande, harvests 2002 to 2005. Letters G corresponding to genotypes and A corresponding to Years (identification in Table 1).

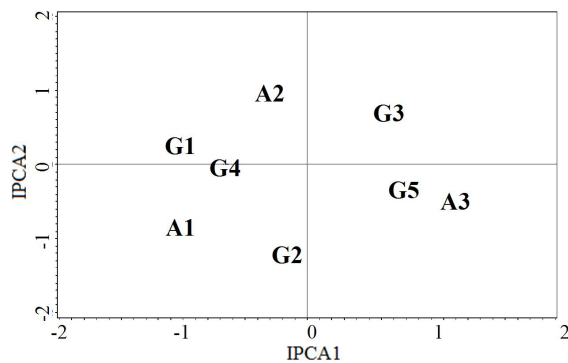


Figura 6. Biplot AMMI2, IPCA1 (x) vs IPCA2 (y), sendo os ambientes correspondentes à anos e genótipos, para Número de Folhas Viáveis (NFV) de cinco genótipos de banana. Porto Grande, safras 2002 a 2005. Letras G correspondentes aos genótipos e A correspondentes aos Anos (identificação na Tabela 1).

Figure 6. Biplot AMMI2, IPCA1 (x) vs IPCA2 (y), with the environments corresponding to the years and genotypes, for number of viable leaves (NFV) in five banana genotypes. Porto Grande, harvests 2002 to 2005. Letters G corresponding to genotypes and A corresponding to Years (identification in Table 1).

significância do segundo eixo (IPCA2), a informação capturada por este pode ser útil para corrigir possíveis distorções na análise ou na interpretação produzida sob uma única dimensão. Portanto, confirmam-se o comportamento estável (baixa contribuição para interação GxE) e a ampla adaptabilidade produtiva do genótipo G5 para FMJI (Figura 4). Contudo, o genótipo G2, para CPL (Figura 5) e NFV (Figura 6) aparentemente estável na análise sob apenas um só eixo de interação, revelou agora contribuição para a interação GxE capturada no segundo eixo principal, o que contraria sua estabilidade inicial, interessante também verificar que o genótipo G1 que na primeira análise não demonstrava contribuição elevada para a interação em

CPL, aparentemente foi o que menos contribuiu na análise AMMI2 também. Isso evidencia que o ponto de corte do IPCA1 (acima de 95,00%), em geral, não foi significativo para que se possa inferir sobre a previsibilidade dos genótipos quanto ao comportamento para CPL, por tratar-se de variável que possivelmente sofra grande influência ambiental, semelhante ao observado por Ortiz (1998).

Um aspecto importante a ser mencionado é que os fatores relacionados à interação GxE explicada pelo primeiro eixo são estatisticamente independentes dos que determinam a interação capturada pelo segundo eixo; dessa forma, não deve haver perda de generalidade em casos que envolvam maior número de eixos selecionados. Assim, esses fatores e seus constructos matemáticos (eixos ou componentes principais) não podem ser desconsiderados na interpretação, caso a magnitude de seus efeitos tenha se revelado significativa, contudo neste artigo não foi detectada significância no segundo eixo, mas convém salientar que a independência entre as variáveis latentes que compõem cada um dos eixos (IPCA1 e IPCA2) e, por conseguinte, a independência entre os fatores ambientais e genéticos a eles subjacentes garantem que, ao se priorizar o manejo de fatores ambientais, identificados segundo a abordagem que fundamenta a análise AMMI, não se lidará com variáveis redundantes.

O refinamento na interpretação do AMMI, ao se agregar a informação do segundo eixo apesar de ausência de significância, permite corrigir ou ratificar possíveis distorções da análise e interpretação obtidas numa única dimensão, contudo é conveniente salientar também a possibilidade do risco de incluir ruídos que podem dificultá-las. Desta forma, os genótipos G1 e G4 para CPL, que tiveram os maiores valores médios e contribuições relevantes para a interação GxE nos dois eixos, agora mostraram adaptabilidades mais específicas; todos com o segundo ano agrícola de avaliação (pontos de genótipo e ambientes no mesmo quadrante e próximos, Figura 4, 5 e 6), assim como o genótipo G1 com o primeiro ano agrícola de avaliação, G3 com A2 e G2 com A3 em FMJI (Figura 4), G4 com A2 em CPL (Figura 5) e G5 com A3, G2 com A1, G4 com A2 em NFV (Figura 6), o mesmo comportamento é observado por De Cauwer & Ortiz (1998) e Ortiz (1998) usando diferentes materiais e ambientes.

Interações negativas ou positivas dos genótipos 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 aqui confirmados. Isso ocorreu porque tais genótipos tiveram escores de interação de elevada magnitude nos dois eixos (instabilidade) e distribuíram-se em quadrantes distintos a esses anos agrícolas (Figuras 4, 5 e 6). Os comportamentos coincidentes nos dois gráficos, conforme já reportado, indicam que o primeiro eixo conseguiu capturar a parcela mais importante do padrão da interação GxE para o caráter em estudo, resultado semelhante ao observado por De Cauwer & Ortiz (1998) e Ortiz (1998).

Os anos agrícolas avaliados individualmente tenderam a contribuir mais para a interação GxE do que os genótipos somente para os caracteres FMJI e NFV. Isso pode ser constatado pela maior dispersão dos pontos ou vetores associados aos anos agrícolas em geral, em relação aos vetores associados aos genótipos, em ambos os biplots (médias x IPCA1 e IPCA1 x IPCA2).

Essa tendência pode ser observada reiteradas vezes em outras pesquisas, o que justifica estudos que identifiquem fatores ambientais específicos envolvidos na manifestação desse tipo de interação nos diferentes anos de avaliação. Só assim se poderá mitigar os efeitos indesejáveis de anos e explorar seus efeitos positivos de modo mais eficiente (Ortiz, 1996; 1998).

Os anos foram contrastantes na análise AMMI2 (Figuras 4, 5 e 6) para todos os caracteres, situando-se em quadrantes distintos, sendo indicativo de que os fatores relacionados à diferença entre os anos agrícolas foram determinantes na interação associada ao primeiro eixo principal, sendo provável que essa contribuição seja decorrente de suas diferenças climáticas e de manejo, foram determinantes para a manifestação das interações GxE.

O número de eixos principais retidos para explicar e representar graficamente o padrão de interação GxE é variável, porém nos estudos com a cultura da bananeira tem-se observado que dois eixos são suficientes, o que foi observado por Ortiz (1998) com o primeiro eixo capturando 81% da variação, assim como para Baiyeri et al. (2000), com o primeiro capturando cerca de 55% e o segundo 35%, sendo o modelo AMMI2 o mais apropriado (~90% da variação), também para Tenkouano & Baiyeri (2007) dois eixos foram suficientes para explicar 88,3% da variação existente.

4 Conclusões

Na análise de variância os anos dominaram a variação associada aos tratamentos em NFV, ALT e CPL, sendo que para FMJI e NEP foram os ruídos.

Os dois primeiros eixos (IPCA1 e IPCA2) explicaram a totalidade da $SQ_{G \times E}$.

Existiram genótipos mais estáveis (G3 e G5 para FMJI; G1 para CPL e; G2 para NFV) e os com especificidade adaptativa a determinados anos agrícolas (G1 e G4 para FMJI; G2 e G3 para CPL e; G1, G3, G4 e G5 para NFV)

No biplot AMMI2 pode-se corrigir o comportamento de genótipos (G1 e G2, para CPL e NFV) que antes eram aparentemente estáveis e que contribuíram para a interação GxE no eixo IPCA2.

Os anos agrícolas avaliados individualmente tenderam a contribuir mais para a interação GxE do que os genótipos, também foram contrastantes na análise AMMI2, indicativo de que existiram fatores determinantes na interação GxE.

Referências

BAIYERI, K. P.; MBAH, B. N.; TENKOUANO, A. Yield components of triploid and tetraploid Musa genotypes in Nigeria. *HortScience*, v. 35, p. 1338-1343, 2000.

CORNELIUS, P. L.; J. CROSSA; SEYEDSADR, M. S. *Statistical tests and estimators of multiplicative models for genotype-by-environment interaction*. In: KANG, M.S.; GAUCH H.G. (ed.) *Genotype-by-environment interaction*. Boca Raton: CRC Press, Cap 8, p.199-234, 1996.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. 3. ed., Viçosa: Editora UFV, 2004. v. 1, 480 p.

DE CAUWER, I. ; ORTIZ, R. Analysis of the genotype x environment interaction in Musa trials. *Experimental Agriculture*, v.34(2), p.177-188, 1998.

DIAS, J. do S. A. *A Sigatoka negra (Mycosphaerella fijiensis Morelet) e a produtividade da banana no Amapá*. Macapá: Embrapa Amapá, 2001. 7 p. (Embrapa Amapá. Circular Técnica, 17).

DONATO, S. L. R.; SILVA, S. O.; LUCCA FILHO, O. A.; LIMA, M. B.; DOMINGUES, H.; ALVES, J. S. Comportamento de variedades e híbridos de bananeira (*Musa spp.*), em dois ciclos de produção no sudoeste da Bahia. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 28, p. 139-144, 2006.

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. 60 p.

FAOSTAT *Food Balance Sheets*, 2011. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/download/FB/FBS/E>> Acesso em: 05 de janeiro de 2015.

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

GOLLOB, H. F. A statistical model which combines features of factor analytic and analysis of variance techniques. *Psychometrika*, Baltimore, v. 33, n. 1, p. 73-115, 1968.

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 *Levantamento Sistemático da Produção Agrícola*. Rio de Janeiro, v. 27, n. 11, p. 1-86. 2014.

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

OLIVEIRA JUNIOR, R. C. de; MELEM JUNIOR, N. J. *Zoneamento agroecológico do município de Porto Grande: relatório final*. Macapá: EMBRAPA-CPAF Amapá, 2000. 68 p.

ORTIZ, R. AMMI and stability analyses of bunch mass in multilocal testing of Musa germplasm in sub-Saharan Africa. *Journal of American Society for Horticultural Science*, v. 123, p. 623–627, 1998.

ORTIZ, R. The potential of AMMI analysis for field assessment of Musa genotypes to virus infection. *Hortscience*, Alexandria, v. 31, n. 5, p. 829-832, 1996.

PIEPHO, H. P. Robustness of statistical test for multiplicative terms in the additive main effects and multiplicative interaction model for cultivar trial. *Theoretical Applied of Genetics*, v. 90, p. 438-443, 1995.

RODRIGUES, M. G. V.; SOUTO, R. F.; SILVA, S. de O. Avaliação de genótipos de bananeira sob irrigação. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 444-448, 2006.

- SAS/ STAT *User's Guide. Release 6. 3.* ed. SAS Institute Inc., 1988.
- SHAFII, B.; PRICE, W. J. Analysis of Genotype-by-Environment Interaction Using the Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Model and Stability Estimates. *Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics*. v. 3, n.3, p. 335-345, 1998.
- SILVA, S. O.; FLORES, J. C. O.; LIMA NETO, F. P. Avaliação de cultivares e híbridos de bananeira em quatro ciclos de produção. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 11, p. 1567-1574, 2002.
- SILVA, S. O.; ROCHA, S. A.; CREDICO, M.; PASSOS, A. R. Caracterização morfológica e avaliação de cultivares e híbridos de bananeira. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 22, p. 156-160, 2000.
- 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.
- UNCTAD *Banana*. < <http://www.unctad.info/en/Infocomm/AACP-Products/COMMODITY-PROFILE---Banana/> >. Acesso em: 05 janeiro 2015.

Contribuição dos autores: Gilberto Ken-Iti Yokomizo: Análise Estatística dos dados, redação inicial e final do artigo, discussão dos aspectos principais do artigo; Jurema do Socorro Azevedo Dias: Coleta de dados, contribuição na discussão do artigo, proposição de correções; Carlos Tadeu dos Santos Dias: Análise Estatística dos dados, contribuição na discussão do artigo, proposição de correções; Kuang Hongyu: Análise Estatística dos dados, contribuição na discussão do artigo, proposição de correções.

Fonte de financiamento: Embrapa.

Conflito de interesse: Os autores declaram não haver conflitos de interesse