

Estabilidade e adaptabilidade de clones de cajueiro para caracteres fenológicos

Stability and adaptability from cashew trees clones for vegetation and phenological characteristics

Gilberto Ken Iti Yokomizo
Embrapa Amapá

E-mail: gilberto.yokomizo@embrapa.br

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

Francisco das Chagas Vidal Neto
Embrapa Agroindústria Tropical

E-mail: vidal.neto@embrapa.br

OrcID: <https://orcid.org/0000-0001-9412-6955>

Kuang Hongyu
Universidade Federal do Mato Grosso

E-mail: kuang_hongyu@hotmail.com

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

Dheyne Silva Melo
Embrapa Agroindústria Tropical

E-mail: dheyne.melo@embrapa.br

OrcID: <https://orcid.org/0000-0001-9961-7286>

Luiz Augusto Lopes Serrano
Embrapa Agroindústria Tropical

E-mail: luiz.serrano@embrapa.br

OrcID: <https://orcid.org/0000-0002-4596-2807>

Data de recebimento: 12/08/2021

Data de aprovação: 08/05/2022

DOI: <https://doi.org/10.30612/agrarian.v14i54.15064>

Resumo: Desempenhos distintos causados pela interação genótipos *versus* ambientes torna fundamental as pesquisas de adaptabilidade e estabilidade para seleção de clones novos de cajueiro. Sendo assim, o objetivo foi estimar a adaptabilidade e estabilidade de clones de cajueiros empregando-se análise gráfica AMMI. Os tratamentos utilizados foram 25 clones de cajueiro-anão precoce, distribuídos em delineamento experimental em blocos casualizados, com três repetições, sendo avaliado: altura de planta (AP), diâmetro de copa (DC) e fenologia da planta (FP). Os clones mais estáveis nos modelos AMMI1 e AMMI2 foram T22, T3 e T2 para AP; T23, T24, T20, T16, T8, T6 e T18 para FP e; T5 e T22 para DC, sendo o clone T22 coincidente entre AP e DC; contribuíram de forma mais intensa nas médias os clones T4 e T5 em AP, T11 e T21 para FP e, T4 e T10 para DC. Os anos representam as maiores contribuições nas variações fenotípicas e gerando distinções fenotípicas nos clones.

Palavras-chave: AMMI, *Anacardium occidentale* L.. Análise de componentes principais. Interação genótipo-ambiente.

Abstract: Distinct performances caused by the interaction of genotypes versus environments make research on adaptability and stability essential for the selection of new cashew clones. So the objective was to estimate adaptability and stability using AMMI graphical analysis. The treatments were 25 clones of early dwarf cashew, implanted in a randomized block experimental design, with three replications, being evaluated: plant height (AP), crown diameter (DC) and plant phenology (FP). The most stable clones in models AMMI1 and AMMI2 are T22, T3 and T2 for AP, T23, T24, T20, T16, T8, T6 and T18 for FP and, T5 and T22 for DC, with clone T22 coinciding between AP and DC; clones T4 and T5 in AP, T11 and T21 for FP and T4 and T10 for DC contributed more intensely to the means; the years represent the greatest contributions in the phenotypic variations and generating phenotypic distinctions in the clones.

Keywords: AMMI, *Anacardium occidentale* L.. Principal components analysis. Genotype-environment interaction

1 Introdução

O cajueiro pertence à família *Anacardiaceae*, tendo como origem a região da América tropical, sendo encontrado espontaneamente no Cerrado, na Caatinga e na Amazônia. A sua exploração representa uma atividade de elevada importância econômica e social no Nordeste do Brasil, responsável em gerar ocupação e renda, gerando quantitativo relevante de divisas econômicas externas, possuindo como produto destacado a amêndoa da castanha do caju (ACC) (Santos, 2011; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], 2017).

A produção brasileira de castanha de caju no ano de 2020 foi de aproximadamente 150.404 toneladas, englobando área colhida equivalente a 429.177 hectares, sendo 99,4% obtida na região nordeste. O maior estado produtor brasileiro é o Ceará, produzindo 95.491 toneladas, seguido por Piauí, com 24.715 toneladas e Rio Grande do Norte, com 17.170 toneladas (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], 2020). Da safra brasileira de 2019 cerca de 17.100 toneladas foram exportadas, atingindo o valor de US\$ FOB 121 milhões (Companhia Nacional de Abastecimento [CONAB], 2020).

Um dos maiores entraves para o melhoramento de plantas é a manifestação da interação genótipo *versus* ambiente (G x A), agindo de forma negativa nas etapas de seleção e, também na recomendação futura de cultivares. O cajueiro é passível dos efeitos desta interação, direcionando pesquisas que visam obter genótipos estáveis e com desempenho superior para determinadas características (Ramalho *et al.*, 2012; Cruz *et al.*, 2014), principalmente produtividade. Desta forma as pesquisas da interação G x A nos cajueiros buscam não apenas os genótipos mais estáveis com ampla adaptação, mas também pelos que possuem adaptação específica a determinadas localidades.

Para toda nova cultivar de cajueiro gerada, torna-se fundamental a verificação do desempenho em ambientes singulares, devido a possibilidade de manifestação fenotípica distinta em relação ao local de seleção da nova cultivar, uma vez que diferentes fatores ambientais podem promover distintas interações G x A, que em determinadas situações dificultam a seleção dos melhores materiais genéticos para uma ampla gama de localidades. Portanto, o conhecimento específico de dados minuciosos do desempenho dos materiais genéticos perante este tipo de interação é fundamental e análises de adaptabilidade e estabilidade possuem papel importante e imprescindível (Cruz *et al.*, 2014). Estas análises permitem discernir sobre quais cultivares possuem comportamento previsível e aqueles que possuem resposta às variações ambientais, tanto em determinadas condições específicas ou mais amplas.

A análise AMMI ("Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Model") é um procedimento cujo uso tem trazido grande êxito nos estudos de interação G x A,

recomendada por Duarte & Vencovsky (1999) por ser uma opção gráfico-estatística exequível para compreender e decifrar distintos padrões de interação G x A que atuam nos materiais genéticos a serem analisados.

O gráfico AMMI constituído neste procedimento gráfico-estatístico é relevante na sintetização dos dados e para simplificar a interpretação do comportamento de genótipos e de efeito dos ambientes, disponibilizando elucidacões referentes a estabilidade e a adaptabilidade, em que a interpretação baseia-se na dimensão da dispersão em relação aos eixos de origem (Zobel *et al.*, 1988; Ferreira *et al.*, 2016). A análise AMMI também fornece dados de zoneamento agrônômico e a identificação de ambientes fundamentais para se realizar os procedimentos de avaliação e seleção. Lavoranti (2003) cita que a exposição dos valores das características no biplot é um método muito relevante para a análise de componentes principais, ao indicar a presença de agrupamentos entre as observações e também por mostrar as variâncias e correlações entre as diversas variáveis em estudo. Num modelo AMMI1, escores perto de zero são representativos de genótipos e ambientes com baixa contribuição para a interação, portanto, podendo ser considerados estáveis (Ferreira *et al.*, 2006).

Baseado nestas pressuposições objetivou-se nesta pesquisa avaliar os efeitos da interação G x A na resposta de características morfológicas de clones de cajueiros anão, visando distinguir aqueles de melhor desempenho e verificar se o efeito de anos é fator importante nesta interação. Importante ressaltar que este é um dos primeiros artigos a empregar esta análise gráfica em *Anacardium* spp. no Brasil, visando disponibilizar resultados e parâmetros para as etapas posteriores de seleção.

2 Materiais e Métodos

O experimento foi instalado em 22 de fevereiro de 2000, na Fazenda Solidão, com localização geográfica nas coordenadas de 2°57'06.3"S 40°25'01.5"W, no Município de Cruz, CE, envolvendo 25 clones de cajueiro-anão precoce, com bom potencial produtivo de castanha e pseudofruto, pré-selecionados para estas características. A área apresenta topografia plana e solo do tipo Argissolo. A pluviosidade média anual no município durante o período experimental (2014 a 2017) foi de 759,13 mm. Os dados climatológicos ocorridos na localidade no período encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Precipitação anual total (PTo), temperatura máxima média (Tmax), temperatura média anual (TMed), temperatura mínima média (TMin) e umidade relativa média do ar (UR%) obtida na estação A360 de Acaraú (próxima à Cruz, CE).

	PTo ^a	TMax ^b	TMed ^b	TMin ^b	UR% ^b
2014	571,1	33,7	27,0	23,1	71,8
2015	1074,6	33,1	26,7	22,9	75,7
2016	781,4	33,5	27,2	23,7	75,7
2017	1003,2	32,9	26,7	23,0	77,5

Fonte: a: Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) (2020), obtido no município de Cruz; b: comunicação pessoal Dr. Antonio Montadon do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (2020) na estação A360 em Acaraú.

O delineamento experimental adotado foi de blocos ao acaso com 25 tratamentos (clones) com três repetições e quatro plantas por parcela, adotando-se o espaçamento de 8 x 8 m. Os clones avaliados encontram-se identificados na Tabela 2.

Tabela 2. Identificação dos 25 tratamentos (clones) de cajueiro-anão precoce, Cruz, CE.

Clones	Trat.	Clones	Trat.	Clones	Trat.
PRO 113-1	1	PRO 146/7	9	PRO 143/7	17
MG-1	2	SLC 12-20	10	H-51	18
MG-17	3	PRO 116-2	11	H-71	19
MG-41	4	PRO 114/2	12	PRO 155/2	20
MG-57	5	PRO 114/4	13	END II 6-9	21
MG-65	6	PRO 133/1	14	PRO 805/4	22
MG-76	7	PRO 149/1	15	BRS 189	23
PRO 108/6	8	PRO 105/5	16	CCP 76	24
				BRS 226	25

Dados fenotípicos foram obtidos entre os anos de 2014 a 2017, sendo que de 2018 em diante a adoção da poda de redução, em função do entrelaçamento das copas, não permitiu novas avaliações relacionadas às características vegetativas. As características avaliadas foram: altura da planta (AP), medida anual da altura da planta do solo até o ponto mais alto, em metros; envergadura da copa (DC), medida anual do diâmetro da projeção da copa, em metros e; fenologia da planta (FP), avaliada quanto ao estágio fenológico da planta, de acordo com a seguinte escala de notas, sendo um indicativo de precocidade (Notas: 1 – folhagem velha; 2 – fluxo foliar; 3 – Flor; e 4 – maturi ou fruto). Maturi é planta com presença de caju jovem ainda verde.

As análises de variância individual e conjunta dos dados coletados e também a análise de estabilidade e adaptabilidade pelo modelo AMMI, foram realizadas através dos procedimentos GLM e IML, existentes no aplicativo computacional SAS (Statistical Analysis System Institute [SAS INSTITUTE], 2012).

A análise AMMI, cuja descrição detalhada consta no trabalho de Duarte & Vencovsky (1999), utiliza o seguinte modelo:

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

Em que:

Y_{ij} é a resposta média das repetições do i -ésimo clone ($i = 1, 2, 3, \dots, g$) 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 $GE_{g \times a} = \{(ga)_{ij}\}$, que expressam e capturam o "padrão" associado à interação do clone " i " com a ano " j ", sendo $(ga)_{ij}$ 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 $(ga)_{ij}$ 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. $\sim N(0, \sigma^2)$.

A metodologia gráfica AMMI emprega duas etapas realizadas em sequência: 1^a) os efeitos principais, na parte aditiva do modelo (média geral, efeitos de clones e anos), são ajustados por análise de variância (ANOVA), o que gera um resíduo de não aditividade: $(g\hat{a})_{ij} = Y_{ij} - \bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{.j} + \bar{Y}_{..}$, isto é, nas estimativas de quadrados mínimos ordinários de $(ga)_{ij}$; 2^a) a interação (parte multiplicativa do modelo) é ajustada através do DVS ou ACP aplicada à matriz $GE_{g \times a} = \{(g\hat{a})_{ij}\}$, gerando uma partição denominada "padrão" (a interação propriamente dita – interação AMMI), e uma outra composta de "ruídos", que deve ser descartada, juntamente com o resíduo ANOVA.

Para definir qual o quantitativo de número de eixos principais a serem retidos, com a finalidade de explicar e representar graficamente o padrão relacionado à interação, adotou-se os critérios descritos em Gauch & Zobel (1988).

3 Resultados e Discussão

Na decomposição da interação G x A entre os distintos anos e clones de cajueiros constatou-se diferença significativa, indicando que cada clone responde dissemelhantemente perante os efeitos ambientais e que, a fonte de variação anos de teste também comportou-se de forma discrepante na expressão das características (Tabela 3), sendo que Aliyu *et al.* (2014) verificaram comportamento similar. Similarmente foi observada em todas as características avaliadas nos diferentes anos a presença de variabilidade genética, o que induz as diferentes manifestações fenotípicas entre as coletas de dados. Uma possível explicação para esta reação morfológica pode ser obtida no trabalho de Aliyu (2012), em que o autor menciona a evidência da presença de uma base genética de dimensão aceitável, como fonte de introdução diferencial, nível de domesticação e melhoria e de polinização livre (meios irmãos) que são geradores da variabilidade.

Os efeitos ambientais não passíveis de controle gerados devido aos distintos anos foram superiores a variação genética (clones) e a interação clones vs anos, representando 81,49% e 90,72% da variação total para AP e DC. Os efeitos genotípicos oriundos dos diferentes clones e a interação G x A apresentaram menores contribuições para a variação total, indicativo que a base genética foi suficiente para causar variação nestas condições experimentais, permitindo identificar e existência de diferenças significativas entre clones, mas ressaltando que em menor intensidade do que os efeitos ambientais. Comportamento semelhante ao afirmado foi observado por Oliveira *et al.* (2014) estudando maracujá-amarelo, que observaram que a maior fração da variação é devido aos fatores oriundos do ambiente e da interação G x A, o que mostra que haverá dificuldade no processo de seleção de genótipos superiores. Na característica FP o componente genético foi proeminente, assim como observado por Aliyu *et al.* (2014), que explicam este comportamento pela ocorrência da utilização de material proveniente de cruzamentos livres, em que o desempenho entre distintos ambientes necessita da concepção de fenótipos (variedades) com adaptação específica com base em sua contribuição genética.

Particularmente sobre a interação G x A (resíduo de não aditividade), devido a existência de diferenças significativas nas características, permitiu-se a decomposição da interação G x A entre os distintos clones de cajueiros e anos avaliados e, desta forma justificou-se a realização da análise AMMI (Tabela 3).

Tabela 3. Resumo da análise de variância e quadrados médios associados ao desdobramento do efeito de interação G x A em clones de cajueiro-anão precoce para três características vegetativas nas safras de 2014 a 2017. Cruz, CE.

	GL	AP		DC		FP	
		QM	VT%	QM	VT%	QM	VT%
Ano (A)	3	50,930**	81,487	300,335**	90,717	0,636*	5,557
Rep(Ano)	8	0,061 ^{ns}	0,260	0,125 ^{ns}	0,101	0,126 ^{ns}	2,936
Clone (G)	23	1,095**	13,432	1,793**	4,152	0,916**	61,362
G x A	69	0,131**	4,821	0,724**	5,030	0,150*	30,145
Resíduo	184	0,039		0,149		0,098	
CV%		9,474		11,836		12,650	
Média		2,076		3,260		2,480	

** , * e ns, significativos a 1% e 5% e não significativo pelo teste F. ^a Altura da planta (AP), diâmetro da copa (DC), fenologia da planta (FP).

O primeiro eixo principal gerado (PC1) na análise AMMI apresentado na Tabela 4, que abrange a maior porcentagem do padrão associado à interação G x A para cada característica avaliada, apresentou valores superiores à 90% da $SQ_{G \times A}$ em AP e DC, superior ao estimado por Aliyu *et al.* (2014) na variação do PC1.

A soma acima de 90% relativa ao padrão associado à interação G x A com dois eixos IPCs nas características estudadas, sugere que apenas estes são suficientes para explicar o desempenho genético dos clones. Convém destacar que, apenas o primeiro eixo para AP e DC, nas condições experimentais, capturou quase a totalidade da variação relacionada aos desvios de aditividade dos efeitos principais (clones e anos). Adicionalmente o resultado indica que um modelo relativamente simples (com poucos termos multiplicativos) possui boa capacidade preditiva para o comportamento diferencial dos clones entre os anos avaliados.

Somente o eixo PC1 foi significativo pelo teste F_{Gollub} , desta forma somente um eixo seria suficiente para explicar a parte padrão da interação G x A, com o eixo PC2, possivelmente, sendo composto em quase sua totalidade por ruídos. Portanto, a análise realizada considerando o biplot com o modelo AMMI2 pode ser considerada suficiente, pois os dois primeiros termos em conjunto explicaram a totalidade da $SQ_{G \times A}$. Comportamento dentro do que é aceito como o “padrão” associado à interação G x A para um conjunto modelo-dados analisado, onde poucos eixos são significativos, tendo a capacidade de capturar a variação em quase sua totalidade. Não foi detectada a necessidade de eixos adicionais para a descrição da interação G x A, provavelmente pela sua constituição de ruídos (Tabela 4), que iriam induzir a resultados desvirtuados em relação ao comportamento real.

O quantitativo de eixos principais identificados como suficientes para explicar e representar graficamente o padrão de interação G x A foi semelhante ao citado em bananeira por Tenkouano & Baiyeri (2007) e em melão Gália para produtividade por Nunes *et al.* (2011) onde somente 1 eixo tornou-se suficiente. Mas também se mostrou inferior ao citado na presença de dois eixos por Aliyu *et al.* (2014), Oliveira *et al.* (2014) e Yokomizo *et al.* (2016).

Tabela 4. Soma de quadrados total ($SQ_{G \times A}$) em porcentagem associada a cada eixo principal, individualmente (PI) e acumulada (PA) e Quadrados médios (QM), estimados pela análise AMMI em clones de cajueiro-anão precoce para três características^a vegetativos, entre os anos de 2014 a 2017. Cruz, CE.

	AP			DC			FP		
	PI	PA%	QM	PI%	PA%	QM	PI %	PA%	QM
PC1	94,	94,4	0,3414**	94,2	94,2	1,883**	64,5	64,5	0,267**
PC2	3,4	97,8	0,013 ^{ns}	4,7	99,0	0,103 ^{ns}	30,2	94,7	0,136 ^{ns}
PC3	2,2	100,0	0,009 ^{ns}	1,0	100,0	0,024 ^{ns}	5,3	100,	0,026 ^{ns}

** , * e ns, significativos a 1% e 5% e não significativo pelo teste F. ^a Altura da planta (AP), diâmetro da copa (DC), fenologia da planta (FP)

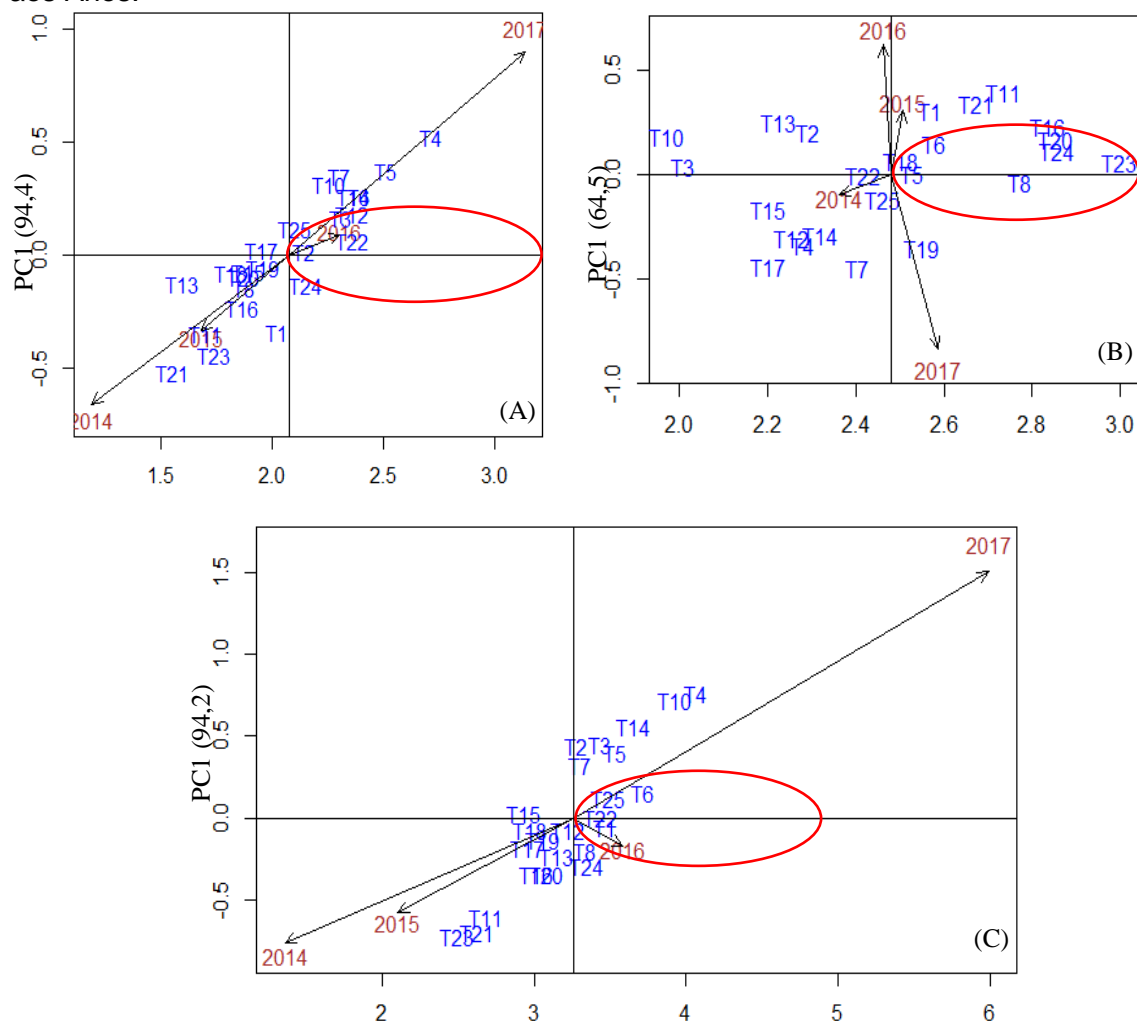
Aqueles clones ou anos onde os pontos se localizam mais próximos à origem do eixo PC1, no modelo AMMI1, são considerados mais estáveis (Duarte & Vencovsky, 1999; Lavoranti, 2003, Fernandes Júnior *et al.*, 2013) e no modelo AMMI2 são considerados mais estáveis os pontos mais próximos da origem dos dois eixos. Portanto, nos gráficos dos modelos AMMI1, apresentados nas Figuras 1A, 1B e 1C e, AMMI2, nas Figuras 2A, 2B e 2C, os clones apresentaram pertinente e visível dispersão em todas as características, indicando a existência de interação com os anos (adaptações específicas). Baseado neste aspecto, ao se verificar o biplot AMMI1 (médias vs. PC1), tem-se que os clones que podem ser considerados com maior estabilidade, ou seja, com menor contribuição para a interação G x A capturada pelo primeiro eixo principal (PC1) e

possuindo as maiores contribuições para as médias, foram: T22, T12, T3 e T2 para AP; os clones T23, T24, T20, T16, T8, T6, T5 e T18, para FP: T6, T25, T22 e T1 para DC. Contudo, pode ser observado que em termos gerais, para cada característica, diferentes clones apresentaram-se como mais estáveis e, portanto, estes devem ser considerados com maior adaptação ampla aos anos agrícolas de avaliação, haja vista a reduzida interação G x A que manifestaram em suas respostas fenotípicas.

Os clones que se destacaram com as maiores médias para as respectivas características, independentemente de suas estabilidades e adaptabilidades, foram os clones T4 e T5, para AP; T11 e T21, para FP e; T4 e T10, para DC. Em geral houve tendência de especificidade dos clones nas características AP e DC nos anos de 2014 a 2017, enquanto para FP não houve especificidade a qualquer ano. Consequentemente, pode-se afirmar que há clones apresentando maior estabilidade e adaptabilidade, assim como também os com adaptabilidade específica e os com instabilidade, similar ao citado por Nunes *et al.* (2011) em melão Gália, por Oliveira *et al.* (2014) em maracujá-amarelo e por Yokomizo *et al.* (2016) em bananeiras.

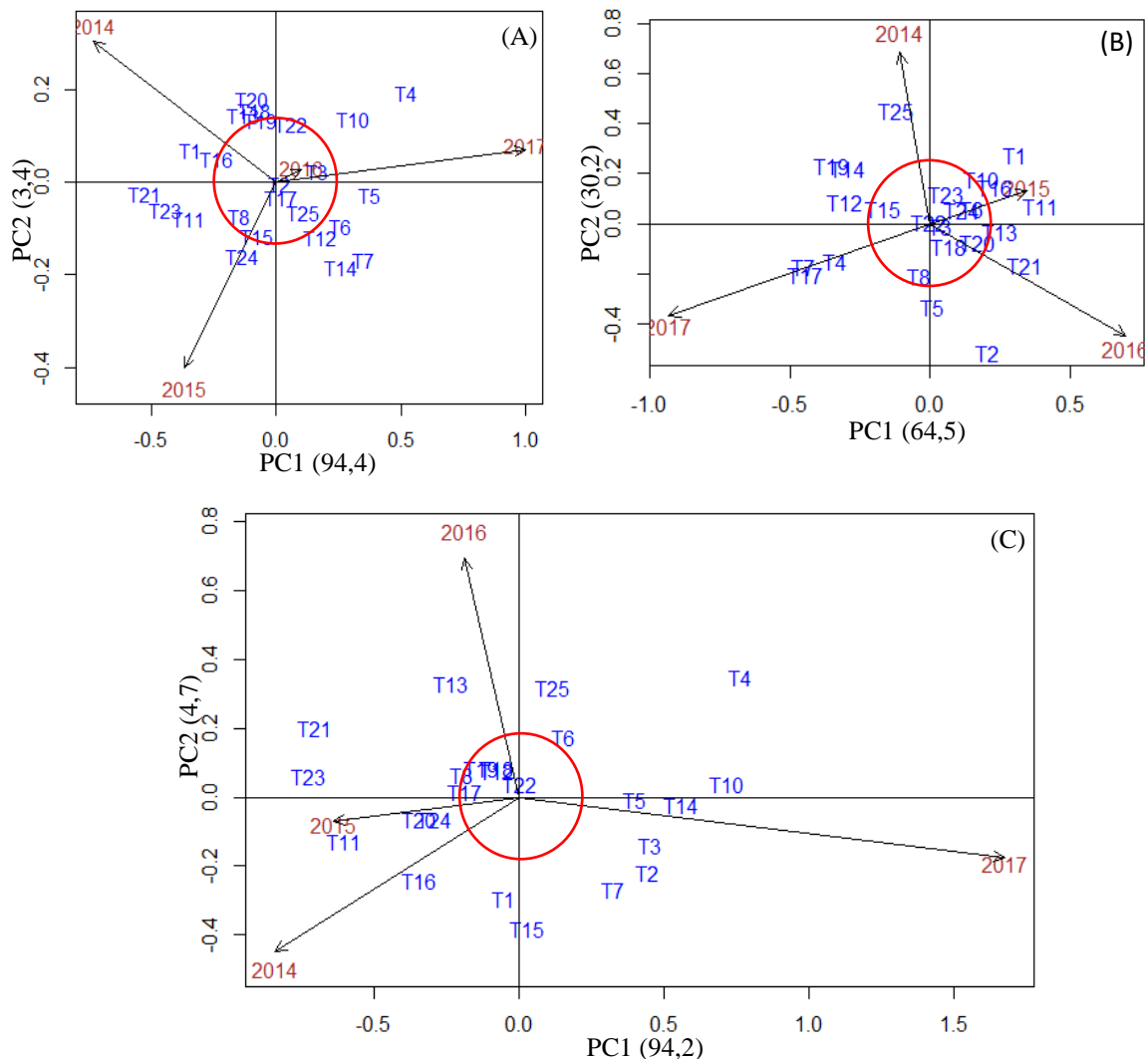
Deve-se ressaltar que alguns dos clones com maiores valores em AP e DC apresentaram contribuições significativas da interação G x A, similar ao identificado por Aliyu *et al.* (2014), e distinto em relação ao citado por Maia *et al.* (2009), cujos materiais mais produtivos não sofreram influência significativa do ambiente, comportamento este constatado apenas para FP na presente pesquisa.

Figura 1. Biplot AMMI1, Médias (x) vs PC1 (y), para altura de planta (A), fenologia da planta (B) e diâmetro da copa (C), em clones de cajueiro-anão precoce, safras de 2014 a 2017 de avaliações. Cruz, CE. Letras G correspondentes aos clones e A correspondentes aos Anos.



No biplot AMMI2 (Figuras 2A, 2B e 2C), constata-se ratificação do comportamento genotípico observado no modelo AMMI1, com pouca distinção. Este fato significa que o primeiro eixo principal de interação (PC1) foi capaz de capturar a maior parte do padrão da interação G x A presente para AP e FP, excetuando-se em termos de estabilidade os clones T12 e T5, respectivamente, para as duas características. Porém para DC, o biplot permitiu a distinção com maior dispersão a partir dos eixos de origem, gerando correções de estabilidade antes presentes e que neste modelo não se confirmou. Isso indica que nesta característica o ponto de corte do PC1, em geral, não foi suficiente para que se possa inferir sobre a previsibilidade de desempenho dos clones, por tratar-se de variável, com possibilidade de experimentar influência ambiental superior em relação às outras duas, excetuando-se aqui apenas os clones T25 e T1. A informação retida pelo segundo eixo (PC2) indubitavelmente em FP foi útil para corrigir as eventuais distorções na análise ou na interpretação produzida numa única dimensão. Desta forma, quase 50% dos clones antes estáveis não se repetiu no modelo AMMI2, o que conferiria confiabilidade da classificação dos genótipos em um determinado ambiente em relação à média geral dos ambientes, conforme citam Rocha *et al.* (2007).

Figura 2. Biplot AMMI2, PC1 (x) vs PC2 (y), para altura de planta (A), fenologia da planta (B) e diâmetro da copa (C), em clones de cajueiro-anão precoce, safras de 2014 a 2017. Cruz, CE. Letras G correspondentes aos clones e A correspondentes aos Anos.



A agregação da informação do segundo eixo, apesar de ausência de significância, gera um refino na interpretação da análise AMMI, permitindo a correção ou ratificação de possíveis distorções da análise e interpretação obtidas com apenas uma dimensão. Porém, é importante ressaltar a possibilidade do risco de abranger ruídos adicionais que podem dificultá-las. Os clones com valores acima da média que apresentaram contribuições destacadas para a interação GxA nos dois eixos no modelo AMMI1, no modelo AMMI2 não revelam adaptabilidades com maior especificidade com nenhum ano; não se assemelhando ao comportamento citado por Aliyu *et al.* (2014).

No modelo AMMI2 confirmou-se a existência de clones com baixa adaptação a determinados anos agrícolas, que puderam ser notados na análise AMMI1. Isso ocorreu porque houve clones possuindo escores de interação de elevada magnitude nos dois eixos (instabilidade), estando distantes da origem dos eixos e, distribuindo-se em quadrantes distintos a esses anos agrícolas (Figuras 2A, 2B e 2C). O desempenho similar nos dois gráficos, conforme já referendado, torna indicativo de que o primeiro eixo conseguiu capturar a parcela mais importante do padrão da interação G x A nas características avaliadas. Esse comportamento é semelhante ao que foi citado por Sethi *et al.* (2016), contudo difere parcialmente do que afirmam Oliveira *et al.* (2014), que no modelo AMMI2 obtiveram a confirmação do comportamento de somente alguns genótipos, sendo estáveis apenas em AMMI1.

Os anos agrícolas individualmente apresentaram tendência de maior contribuição para a interação G x A em relação aos clones para as características, excetuando-se o ano de 2016 na característica AP, o ano de 2015 em FP e DC no modelo AMMI2. No modelo AMI1 metade dos anos foram mais representativos em relação aos clones nas características. Esse comportamento visualizado no AMMI2 pode ser constatado pela dispersão mais ampla dos pontos ou então dos vetores mais longos dos anos agrícolas em geral, comparativamente aos vetores associados à clones. Tendência similar à de outras pesquisas envolvendo espécies vegetais diferentes, como nos resultados de Nunes *et al.* (2011), Oliveira *et al.* (2014) e Yokomizo *et al.* (2016). Esse resultado justifica, conforme Aliyu *et al.* (2014), a necessidade de pesquisas específicas para identificar quais os fatores ambientais específicos estão envolvidos na manifestação desse tipo de interação nos diferentes anos de avaliação.

Oliveira & Godoy (2006) sugerem que ambientes possuindo baixos escores de IPC (alta estabilidade) são interessantes para uso como locais para a seleção de genótipos em processos iniciais de melhoramento, onde existe quantidade pequena de sementes ou propágulos, limitando a capacidade de testes em vários ambientes. Baseado neste aspecto, considerando ambos os modelos, os anos que se mostraram melhores foram 2016 para AP e 2015 para FP e DC, enquanto os demais anos apresentaram altos escores de IPC.

Em termos gerais os anos mostraram-se contrastantes na análise AMMI2 (Figuras 2A, 2B e 2C) nas características pesquisadas, localizando-se em quadrantes dissimilares, o que é um indicativo de que os fatores de variação inerentes a cada ano agrícola foram determinantes na interação associada ao primeiro eixo principal, e provavelmente reflexo de diferenças climáticas e de manejo, distinto do afirmado por Aliyu *et al.* (2014), em que os ambientes apresentaram-se similares entre si.

Fundamentado na dispersão dos clones e ao comportamento de adaptabilidade apresentados nas Tabelas e Figuras, nota-se que é preciso o desenvolvimento de uma tecnologia de produção, apoiado na identificação e controle dos fatores que interferem diretamente no desempenho do material genético para as peculiaridades ecológicas regionais. Similar ao citado por Aliyu *et al.* (2014) contata-se a necessidade de se obter tecnologias adaptadas visando uma resposta ótima da planta para as especificidades de cada ambiente, gerando diferentes genótipos de cajueiros que utilizem de forma otimizada os fatores ambientais disponibilizados.

4 Conclusão

Os clones mais estáveis nos dois modelos (AMMI1 e AMMI2) foram T22, T3 e T2 para AP; T23, T24, T20, T16, T8, T6 e T18 para FP e; T5 e T22 para DC, existindo apenas uma coincidência entre AP e DC.

As maiores contribuições para as médias das características foram apresentadas pelos clones T4 e T5 em AP; T11 e T21 para FP e; T4 e T10 para DC, independentemente de estabilidade e adaptabilidade.

Os anos representam os principais formadores da variação, evidência de influência superior dos fatores não controláveis na manifestação fenotípica. Estes mesmos anos são dissemelhantes no modelo AMMI2, postando-se em quadrantes separados e, por isso, causadores de distinções fenotípicas nos clones.

5 Referências

- Aliyu, O. M. (2012). Genetic diversity of the Nigerian cashew germplasm. In: M. Caliskan (Ed.) *Genetic Diversity in Plants* (pp.163-184). Rijeka: InTech Publisher.
- Aliyu, O. M., Adeigbe, O. O., & Lawal, O. O. (2014). 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*, 2(4), 354-369. <https://doi.org/10.9787/PBB.2014.2.4.354>
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. *Castanha de caju - Análise Mensal - Maio/2020*. (2021). <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-castanha-de-caju/item/13704-castanha-de-caju-analise-mensal-maio-2020>
- Cruz, C. D., Carneiro, P. C. S., & Regazzi, A. J. (2014). *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. 3. ed. Viçosa: Editora UFV.
- Duarte, J. B., & Vencovsky, R. (1999). *Interação genótipos x ambientes: uma introdução à análise AMMI*. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética.
- Fernandes Júnior, A.R., Andrade, J. A. C., Santos, P. C., Hoffmann, H. P., Chapola, R. G., Carneiro, M. S., & Cursi, D. E. (2013) Adaptabilidade e estabilidade de clones de cana-de-açúcar. *Bragantia*, 72(3), 208-216. <http://dx.doi.org/10.1590/brag.2013.033>
- Ferreira, D. F., Demetrio, C. G. B., Manly, B. F. J., Machado, A.A., & Vencovsky, R. (2006). Statistical models in agriculture: biometrical methods for evaluating phenotypic stability in plant breeding. *Cerne*, 12 (4), 373–388. Recuperado de <https://cerne.ufla.br/site/index.php/CERNE/article/view/572>
- FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (2020). *Portal Hidrológico do Ceará – Calendário das Chuvas no Estado do Ceará*. <http://www5.funceme.br/app/calendario/produto/municipios/maxima/anual>
- Gauch, H. G., & Zobel, R. W. (1988). Predictive and postdictive success of statistical analysis of yield trials. *Theoretical and Applied Genetics*, 76(1), 1-10. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00288824>
- IBGE (2017). *Levantamento Sistemático da Produção Agrícola*. Rio de Janeiro, 30(1), 81p.

IBGE (2020). *Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA*.
<https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil>

INMET - BDMEP Instituto Nacional de Meteorologia - *Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa* (2020). *Dados históricos – Estação 82392 – Sobral - CE*.
<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>

Lavoranti, O.J. (2003). *Estabilidade e adaptabilidade fenotípica através da reamostragem “Bootstrap” no modelo AMMI*. Tese de Doutorado – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, Brasil.

Maia, M. C. C., Resende, M. D. V., Paiva, J. R. de, Cavalcanti, J. J. V., & Barros, L. de M. (2009). Seleção simultânea para produção, adaptabilidade e estabilidade genotípicas em clones de cajueiro, via modelos mistos. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 39(1), 43-50.
<https://www.revistas.ufg.br/pat/article/view/5704>

Nunes, G.H.S., Santos Júnior, H., Grangeiro, L.C., Bezerra Neto, F., Dias, C.T.S., & Dantas, M. S. M. (2011). Phenotypic stability of hybrids of Gália melon in Rio Grande do Norte state, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 83(4), 1421-1433.
<https://doi.org/10.1590/S0001-37652011005000034>

Oliveira, E. J. de, Freitas, J. P. X. de, & Jesus, O. N. de (2014). AMMI analysis of the adaptability and yield stability of yellow passion fruit varieties. *Scientia Agricola*, 71(2), 139-145. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162014000200008>

Oliveira, E. J., & Godoy, I. J. (2006). Pod yield stability analysis of runner peanut lines using AMMI. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 6(4), 311-317.
https://www.researchgate.net/publication/26842237_Pod_yield_stability_analysis_of_runner_peanut_lines_using_AMMI

Ramalho, M. A. P., Abreu, A. F. B., Santos, J. B., & Nunes, J. A. R. (2012). *Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas*. Lavras: UFLA.

Rocha, M. M., Freire Filho, F. R., Ribeiro, V. Q., & Carvalho, H. W. L. (2007). Adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi de porte semi-ereto na região Nordeste do Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42(9), 1283-1289.
<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000900010>

Santos, F. O. (2011). *Atividades biológicas de Anacardium occidentale (Linn)*. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil.

SAS Institute Inc. (2012). *SAS/STAT® 12.1 User’s Guide*. Cary, NC: SAS Institute Inc
<https://support.sas.com>

Sethi, K., Tripathy, P., & Mohapatra, K. C. (2016). Variability and heritability of important quantitative characters in cashew (*Anacardium occidentale* L.). *Environment & Ecology*, 34(4), 1795-1798. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20163360261>

Tenkouano, A. & Baiyeri, K. P. (2007). 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*, 8, 337-384.

Yokomizo, G. K. I., Dias, J. S. A., Dias, C. T. S., & Hongyu, K. (2016). Análise AMMI em caracteres vegetativos de genótipos de bananeiras no Amapá. *Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 59(1), 1-8. <https://doi.org/10.4322/rca.1845>

Zobel, R. W., Wright, M. J., & Gauch, H.G. (1988). Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal*, 80, 388-393. <https://doi.org/10.2134/agronj1988.00021962008000030002x>