

**IDENTIFICAÇÃO DE IDEÓTIPOS EM CLONES DE CAJUEIRO ANÃO PELA ANÁLISE GRÁFICA GGE BILOT****IDENTIFICATION OF IDEOTYPES IN DWARF CASHEW CLONES BY GGE BILOT GRAPHICAL ANALYSIS****IDENTIFICACIÓN DE IDEOTIPOS EN CLONES DE ANACARDO ENANO MEDIANTE EL ANÁLISIS GRÁFICO GGE BILOT**

Gilberto Ken Iti Yokomizo<sup>1</sup>  
Dheyne Silva Melo<sup>2</sup>  
Luiz Augusto Lopes Serrano<sup>3</sup>  
Kuang Hongyu<sup>4</sup>  
Francisco da Chagas Vidal Neto<sup>5</sup>

**Resumo:** O cajueiro sofre influência da interação Genótipos vs. Ambientes, sendo que o GGE Biplot fornece informações relevantes para orientar o melhorista na presença deste efeito, com isso, este trabalho teve como objetivo identificar clones de cajueiro com melhor adaptabilidade e maior estabilidade baseado em diferentes anos no local Pacajus para os caracteres em estudo. O delineamento experimental adotado foi de blocos ao acaso com 18 tratamentos (clones) de cajueiro-anão, com três repetições e quatro plantas por parcela, no espaçamento de 8 x 6 m, sendo avaliados os caracteres: %CF: porcentagem de castanha furada; ANT: nota visual para a presença de antracnose; NMP: nota visual para a presença de mofo preto; NOC: nota visual para a presença de oídio na castanha e; NOI: nota visual para a presença de oídio na inflorescência. As principais conclusões são de que há presença de variabilidade disponível para fins de selecionar aqueles de melhor adaptabilidade e estabilidade para Pacajus; no caráter porcentagem de castanha furada os materiais G12, G14, G3 e G5 mais se aproximaram do ideótipo, para nota de antracnose são G4, G3, G6 e G15; para nota de mofo preto são G12, G14, G17, G9; para nota de oídio na castanha são G16, G8, G2, G10 e G14 e; para nota de oídio na inflorescência tem-se G1, G16, G8 e G10. Nota-se que G14 se destacou em três caracteres. No geral os efeitos não controláveis dos anos contribuem mais para a interação GxA em relação às diferenças genéticas dos clones.

**Palavras-chave:** *Anacardium occidentale* L., interação GxA, desempenho agrônomo, pragas, melhoramento genético de perenes.

**Abstract:** The cashew tree is influenced by the Genotype vs. Environment interaction, and the GGE Biplot provides relevant information to guide breeders in the presence of this effect. Therefore, this work aimed to identify cashew clones with better adaptability and greater stability based on different years in the Pacajus area for the traits under study. The experimental design adopted was randomized blocks with 18 treatments (clones) of dwarf cashew, with three replications and four plants

<sup>1</sup> Embrapa Amapá. E-mail: gilberto.yokomizo@embrapa.br

<sup>2</sup> Embrapa Agroindústria Tropical. E-mail: dheyne.melo@embrapa.br

<sup>3</sup> Embrapa Agroindústria Tropical. E-mail: luiz.serrano@embrapa.br

<sup>4</sup> Universidade Federal do Mato Grosso. E-mail: kuang\_hongyu@hotmail.com

<sup>5</sup> Embrapa Agroindústria Tropical. E-mail: vidalnmail@gmail.com

per plot, at a spacing of 8 x 6 m. The following traits were evaluated: %CF: percentage of perforated cashew nuts; ANT: visual score for the presence of anthracnose; NMP: visual score for the presence of black mold; NOC: visual score for the presence of powdery mildew on the cashew nut; and NOI: visual score for the presence of powdery mildew on the inflorescence. The main conclusions are that there is variability available for the purpose of selecting those with better adaptability and stability for Pacajus. Regarding the percentage of perforated chestnuts, materials G12, G14, G3, and G5 were closest to the ideotype; for anthracnose, G4, G3, G6, and G15; for black mold, G12, G14, G17, and G9; for powdery mildew on chestnuts, G16, G8, G2, G10, and G14; and for powdery mildew on inflorescences, G1, G16, G8, and G10. It is noted that G14 stood out in three characteristics. Overall, the uncontrollable effects of the years contribute more to the GxA interaction than to the genetic differences between the clones.

**Key words:** *Anacardium occidentale* L., GxA interaction, agronomic performance, pests pragas, genetic improvement of perennials

**Resumen:** El anacardo sufre la influencia de la interacción Genotipos vs. Ambientes, siendo que el GGE Biplot proporciona información relevante para orientar al mejorista frente a este efecto. Por ello, este trabajo tuvo como objetivo identificar clones de anacardo con mejor adaptabilidad y mayor estabilidad basándose en diferentes años en el sitio de Pacajus para los caracteres en estudio. El diseño experimental adoptado fue de bloques al azar con 18 tratamientos (clones) de anacardo enano, con tres repeticiones y cuatro plantas por parcela, en un espaciamiento de 8 x 6 m, evaluándose los caracteres: %CF: porcentaje de cáscara perforada; ANT: calificación visual para la presencia de antracnosis; NMP: calificación visual para la presencia de moho negro; NOC: calificación visual para la presencia de oídio en la cáscara y; NOI: calificación visual para la presencia de oídio en la inflorescencia. Las principales conclusiones son que hay presencia de variabilidad disponible para fines de seleccionar aquellos con mejor adaptabilidad y estabilidad para Pacajus; en el carácter porcentaje de nuez agujereada los materiales G12, G14, G3 y G5 se acercaron más al ideal, para la nota de antracnosis son G4, G3, G6 y G15; para la nota de moho negro son G12, G14, G17, G9; para la nota de oídio en la nuez son G16, G8, G2, G10 y G14; y para la nota de oídio en la inflorescencia son G1, G16, G8 y G10. Se observa que G14 se destacó en tres caracteres. En general, los efectos no controlables de los años contribuyen más a la interacción GxA en relación con las diferencias genéticas de los clones.

**Palabras clave:** *Anacardium occidentale* L., interacción GxA, desempeño agronómico, plagas, mejoramiento genético de perenes

## 1 INTRODUÇÃO

O cajueiro recebe o nome científico de *Anacardium occidentale* L., tem as regiões tropicais da América do Sul associadas como centro de origem. No Brasil, sua presença acontece em quase a totalidade do território, porém apresenta maior abundância no litoral da região Nordeste, predominantemente nos estados de Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte (Almeida et al., 2017).

Apesar de sua capacidade de adaptação às condições adversas de umidade e baixa fertilidade do solo, existem importantes doenças com impactos significativos sobre a produtividade da cultura, sendo as principais ameaças o oídio [*Pseudoidium anacardii* (F. Noack) U. Braun & R.T. A. Cook], a antracnose (*Colletotrichum*

*gloeosporioides*) e o mofo preto (*Pilgeriella anacardii* Arx & Müller) conforme citado por Cardoso e Freire (2002) e Freire et al. (2002). Sobre o ataque de insetos a traçada-castanha [*Anacampsis phytomiella* (Lepidoptera: Gelechiidae)], é considerada praga-chave da cajucultura (Mesquita & Braga Sobrinho 2013), podendo superar o percentual de castanha furada a 50% (Mesquita et al., 2020).

O cajueiro é a espécie mais cultivada dentro do gênero *Anacardium*. A denominação específica occidentale é utilizada para a forma plantada e explorada comercialmente enquanto *excelsum* é empregada para a forma silvícola. (Alexandre & Motta, 2013; Araújo, 2015). A origem do termo "Anacardium" é grega, juntando-se ana que significa para cima e cardium em forma de coração devido ao formato de seu fruto. O cajueiro tem seu cultivo disseminado pelo mundo inteiro, mas é citado que existem apenas dois centros de diversidade, na região amazônica a primária e, no planalto e nordeste brasileiro a secundária (Nair, 2021) e convém citar que pertence à família Anacardiaceae, que é composta por arbustos e árvores subtropicais e tropicais de onde são conhecidos mais de 70 gêneros e de 700 espécies (Salehi et al., 2019; Oliveira et al., 2020)

Os principais produtos do cajueiro são o pseudofruto e o fruto que se trata de um aquênio, sendo respectivamente o que o público denomina de fruto do caju e a castanha. O pseudofruto tem como destino principalmente a produção de sucos e consumo in natura, enquanto o fruto real é industrializado se obtendo a amêndoa, que possui maior importância comercial nacional e internacional (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2014; Oiram Filho, 2017).

No Nordeste a espécie representa importante valor socioeconômico, ao ser responsável pela criação de muitas vagas de empregos em seu cultivo, colheita e processamento, associado a geração de renda e impostos oriundos da industrialização. Para se ter uma dimensão da cadeia econômica do fruto do cajueiro tem-se um total aproximado de 35 mil empregos diretos em seu cultivo, 15 mil na fase de industrialização e, 250 mil empregos indiretos (Instituto Caju Brasil [ICB], 2020). Além disso vem despertando interesse mundialmente, em que os maiores consumidores de caju, no caso os Estados Unidos da América, a Índia, e a China, estão em continentes distintos em relação ao Brasil. Entre todas as castanhas, as do caju representam 16% da produção mundial de nozes na safra 2021/22, classificando-se como a quarta de maior relevância, situando-se atrás das amêndoas, nozes e pistaches (International Nut and Dried Fruit Council Foundation [INC], 2022), gerando aproximadamente US\$ 100 milhões anualmente, demonstrando sua importância como uma atividade socioeconômica regional (Maia et al., 2025).

Assim como demais espécies vegetais, o fenótipo final do cajueiro é influenciado por componentes genéticos e ambientais, bem como pela interação GxA, o que gera variações no seu desempenho (Bello et al., 2019). Conseqüentemente, o mesmo genótipo pode apresentar respostas fenotípicas distintas ao ser submetido a diferentes ambientes (Muthoni et al., 2015). Não há procedimento para eliminar a presença da interação GxA, pois é um processo fisiológico inerente de cada indivíduo (Adewale et al., 2010) que dificulta sobremaneira o trabalho dos melhoristas (Carvalho et al., 2016).

Uma solução paliativa para mitigar o efeito da interação GxA é se empregar cultivares que possuam ampla adaptabilidade e boa estabilidade (Cruz et al., 2014), podendo ser recomendados para diversos locais (Malosetti et al., 2013). Os autores Ramalho et al. (2012) citam que existem três formas de atenuar essa interação, a primeira é identificar cultivar(es) específica(s) para cada ambiente; em segundo

identificar cultivar(es) com maior estabilidade fenotípica e, em terceiro obter estratificações ambientais, todavia para obter informações que possibilitem adotar uma destas atenuações é necessário escolher e realizar alguma análise estatística ou gráfica nos materiais genéticos e ambientes envolvidos na pesquisa.

Há muitas metodologias que permitem investigar a interação GxA e identificar a adaptabilidade e estabilidade dos genótipos com base no desempenho nos caracteres em estudo. Tendo-se o GGE Biplot que viabiliza constatar a existência e a intensidade da estabilidade (adaptações amplas) e da adaptabilidade (adaptações específicas) conforme citam Gerrano et al. (2020). Esse método considera menor importância ao efeito ambiental isolado e dá ênfase maior ao efeito da interação GxA (Abreu et al., 2019).

Um aspecto importante a ser destacado é que método GGE Biplot permite identificar um genótipo superior (ideótipo) e plotar todos aqueles que se assemelham a este almejado indivíduo nos programas de seleção genética, baseado nas variações não controláveis existentes no ambiente favorável, que permite a diferenciação dos genótipos (Gerrano et al., 2020), além da composição dos chamados mega-ambientes, que é a união daqueles com características assemelhadas (Owusu et al., 2020). A metodologia, portanto, fornece informações relevantes para orientar o melhorista em suas tomadas de decisão quanto ao rumo que o programa deve seguir, com isso, o trabalho teve como objetivo comparar clones de cajueiro, buscando-se identificar aqueles com melhor desempenho para caracteres fitossanitários associado à estabilidade e adaptabilidade ao ambiente Pacajus. Cidade destacada no Estado do Ceará na produção de caju por representar importante centro tecnológico e industrial da espécie, segundo Araújo (2013), tanto que está em tramitação no Senado um projeto de Lei que torna este município a capital nacional do caju, projeto de Lei, PL 2259/2024 (Câmara dos deputados, 2025).

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O material genético constou de 18 clones de cajueiro-anão (Tabela 1), com bom potencial de produção de castanha e pseudofruto, previamente selecionados para as condições edafoclimáticas do Litoral do Ceará. O plantio destes clones foi realizado em 16 de março de 2013, no Campo Experimental da Embrapa em Pacajus – CE, localizado nas coordenadas geográficas 4°11'26,62" S; 38°29'50,78" O, com altitude de 60 m acima do nível do mar. Em topografia plana e solo do tipo Argissolo Vermelho Amarelo; pluviosidade anual média 939,1 mm e temperaturas médias entre 26° e 28° C (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos [FUNCEME], 2023).

Tabela 1 – Identificação dos 18 tratamentos de cajueiros (clones).

Clones	Trat.	Clones	Trat.
A + C 276/1	1	HI 58-92-2	10
END II 6-9	2	PRO 740/4	11
PRO 555/2	3	HB 58	12
PRO 553/2	4	HB 124/4	13
H 84/92/2	5	PRO 106/2	14
A + A 134/1	6	CP 76	15
HB 116/4	7	BRS 226	16
HB 33	8	PRO 111/3	17
PRO 611/1	9	HB 135/1	18

Fonte: Elaborado pelos autores.

Dados climatológicos relativos as precipitações de 2016 a 2019 são apresentados na Tabela 2 sendo referentes as principais diferenças ambientais não controláveis, sendo provenientes da Estação Meteorológica da FUNCEME.

Tabela 2 – Precipitações mensais e total anual em Pacajus, CE.

Meses	2016	2017	2018	2019
Janeiro	181,0	38,0	108,3	183,8
Fevereiro	54,0	251,0	186,9	265,2
Março	56,0	445,0	110,9	343,0
Abril	177,0	207,0	239,1	287,3
Mai	71,0	124,0	112,1	161,9
Junho	26,0	59,0	0,0	28,2
Julho	4,0	112,0	0,0	21,4
Agosto	2,0	0,0	0,0	3,5
Setembro	0,0	0,0	0,5	5,9
Outubro	5,5	14,0	0,5	0,0
Novembro	9,0	0,0	0,0	0,0
Dezembro	31,0	0,0	30,2	25,0
Totais	616,5	1250,0	788,5	1325,2

Fonte: Funceme (2023)

O delineamento experimental adotado foi de blocos ao acaso com 18 tratamentos (clones) de cajueiro-anão, com três repetições e quatro plantas por parcela, no espaçamento de 8 x 6 m, sendo avaliados os caracteres de fitossanidade:

%CF: Porcentagem de castanha furada (é um atributo negativo e corresponde à % de ataque da praga traça-das-castanhas);

ANT: nota visual para a presença de antracnose, escala adotada de 0, ausência de sintomas a 4, mais de 25% da área foliar com sintomas;

NMP: nota visual para a presença de mofo preto, escala adotada de 0, ausência de sintomas a 4, mais de 25% da área foliar com sintomas;

NOC: nota visual para a presença de oídio na castanha, escala adotada de 0, ausência de sintomas a 4, mais de 25% da área foliar com sintomas e;

NOI: nota visual para a presença de oídio na inflorescência, escala adotada de 0, ausência de sintomas a 4, mais de 25% da inflorescência com sintomas;

Todos os tratamentos culturais foram ministrados na área experimental seguindo as recomendações para o plantio comercial de caju em cultivo de sequeiro da publicação Sistema de produção do caju (Serrano et al., 2016).

O método GGE Biplot, segundo Yan et al. (2000) considera o efeito principal de clones e da sua interação com os anos, sendo estes importantes e considerados concomitantemente. O modelo GGE Biplot mantém juntos G da GxA no formato de dois termos multiplicativos, que é visualizado pela equação:  $Y_{ij} - \bar{y}_j = y_1 \varepsilon_{i1} \rho_{j1} + y_2 \varepsilon_{i2} \rho_{j2} + \varepsilon_{ij}$  onde  $Y_{ij}$  simboliza o desempenho médio do i-ésimo clone no j-ésimo ano;  $\bar{y}_j$  simboliza a média geral dos clones para o ano j;  $y_1 \varepsilon_{i1} \rho_{j1}$  equivale ao primeiro componente principal (IPCA1);  $y_2 \varepsilon_{i2} \rho_{j2}$  equivale ao segundo componente principal (IPCA2);  $y_1$  e  $y_2$  se referem aos autovalores associados ao IPCA e IPCA2, respectivamente;  $\varepsilon_{i1}$  e  $\varepsilon_{i2}$  simbolizam os escores do primeiro e segundo componente principal, respectivamente, do i-ésimo clones;  $\rho_{j1}$  e

$\rho_{j2}$  simbolizam os escores do primeiro e segundo componente principal, respectivamente, para o j-ésimo ano;  $\varepsilon_{ij}$  equivale ao erro do modelo associado com o i-ésimo clone no j-ésimo ano (Yan & Kang, 2003).

A coluna do termo multiplicativo GxA, segundo Yan e Kang (2003) é definida pela combinação local x ano, se o local for constante a variação entre anos assume o papel de diferenciador dos ambientes na análise, sendo que no trabalho de Yan e Tinker (2006) o texto original diz que a interação GxA é uma resposta diferencial dos genótipos a mudanças ambientais que podem ser espaciais (locais) ou temporais (anos).

Adicionalmente, Yan (2014) afirma que num teste de único local, com multi-anos, o GGE Biplot identifica genótipos que são consistentemente superiores entre anos, ou seja, estabilidade temporal num local específico, justificando seu uso quando se considera apenas um local com várias avaliações, para principalmente conhecer a adaptabilidade e estabilidade específicas dos materiais genéticos em estudo.

Adicionalmente estimou-se a relação de informação (RI) proposta por Yan e Tinker (2006) para aferir se o biplot é adequado para exibir os padrões de uma tabela de dupla entrada. Onde se interpreta esta relação com base em cada eixo PC (eixo da interação da análise de componentes principais) onde  $RI \geq 1$  o próximo de 1, esta contém padrões (associações entre meses), e um PC onde o  $RI < 1$  tem-se ausência de qualquer padrão ou informação. Com isso um biplot de dimensão 2 somente possui poder de representar de forma adequada os padrões nos dados, se somente os dois primeiros PCs apresentarem  $RI \geq 1$  o próximo de 1.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 apresenta o resumo da análise inicial para verificar a representatividade dos eixos componentes (PCs) em explicar o comportamento dos clones, uma vez que é necessário um percentual acumulado nos dois primeiros eixos conforme Yang et al. (2009), de no mínimo 60%, para proporcionar confiabilidade em traduzir a variação total do desempenho dos materiais genéticos associado a interação entre anos (G+GxA) e a soma observada para os caracteres avaliados está bem acima do limite mínimo, com isso a adoção do modelo com dois eixos é suficiente para caracterizar o comportamento do material genético e da contribuição de anos, similar ao apresentado por Aliyu et al. (2014), e pouco inferior no PC1 em comparação a Eradasappa et al. (2024), sendo que neste padrão há o descarte dos efeitos de ruídos ou estocásticos, que causam distorções e atrapalham a interpretação das análises (Maia et al., 2019).

Tabela 3 – Autovalores, variância explicada (Ve%), variância explicada acumulada (Va%) e relação de informação (RI), considerando os quatro primeiros componentes principais (PCs), em clones de 7und.

Caracteres	Parâmetros	PC1	PC2	PC3	PC4
%CF	Autovalor	22,53	17,45	12,96	2,38
	Ve %	51,49	30,89	17,04	0,57
	Va %	51,49	<b>82,38</b>	99,42	99,99
	RI	2,06	1,24	0,68	0,02
ANT	Autovalor	5,50	1,82	1,32	1,07
	Ve %	83,05	9,04	4,75	3,14
	Va %	83,05	<b>92,09</b>	96,84	99,98
	RI	3,32	0,36	0,19	0,13
NMP	Autovalor	4,36	2,23	1,05	0,89
	Ve %	73,46	19,21	4,24	3,09
	Va %	73,46	<b>92,67</b>	96,91	100,00
	RI	2,94	0,77	0,17	0,12
NOC	Autovalor	1,56	1,00	0,48	0,36
	Ve %	63,99	26,46	6,11	3,44
	Va %	63,99	<b>90,45</b>	96,56	100,00
	RI	2,57	1,05	0,24	0,14
NOI	Autovalor	5,56	1,70	0,23	0,00
	Ve %	91,32	8,53	0,15	0,00
	Va %	91,32	<b>99,85</b>	100,00	100,00
	RI	3,65	0,34	0,01	0,00

Fonte: Elaborado pelos autores.

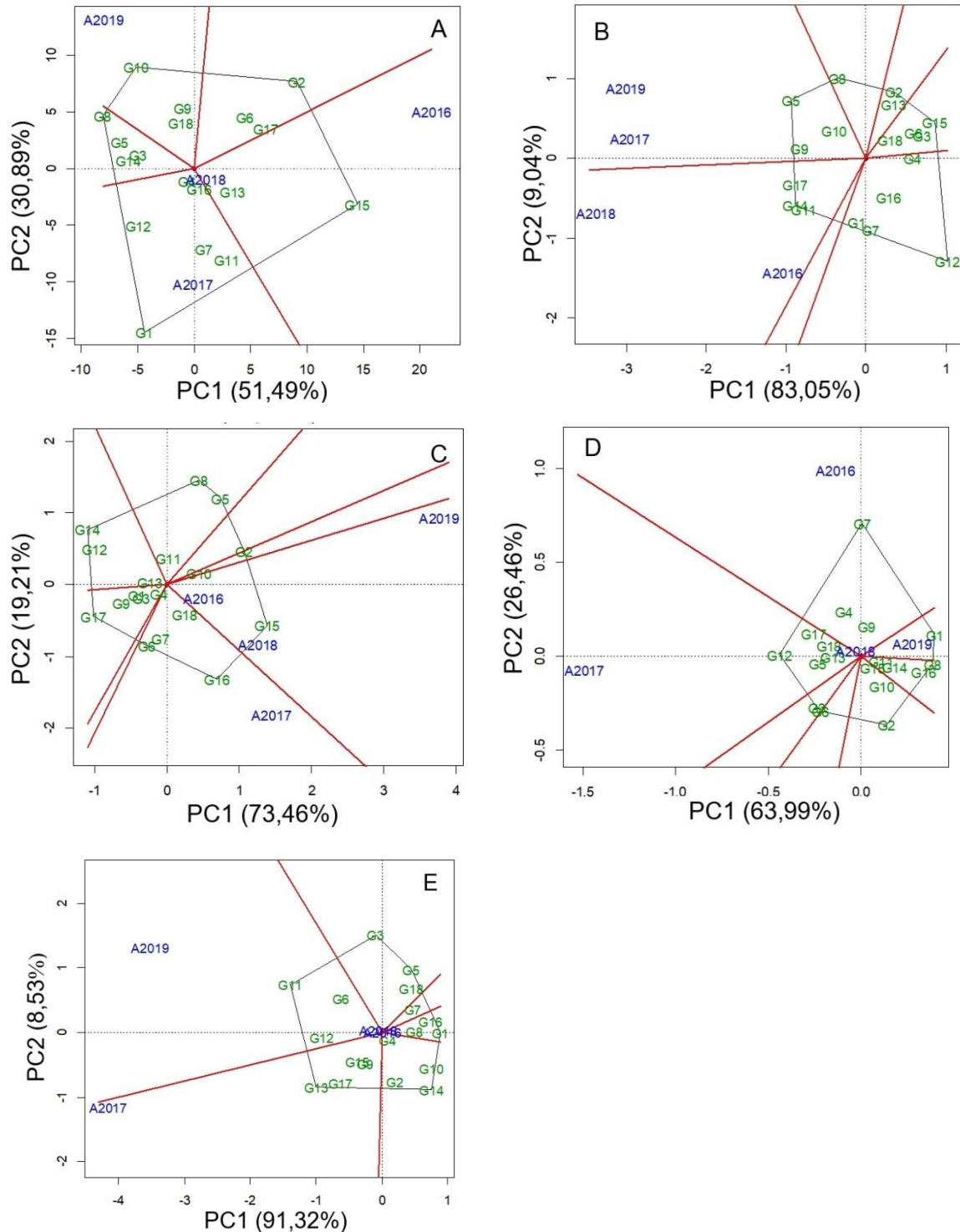
Nota: Sendo: porcentagem de castanha furada (%CF); nota para antracnose (ANT); nota para mofo preto (NMP); nota para oídio na castanha (NOC) e; nota para oídio na inflorescência (NOI).

Adicionalmente na Tabela 3 também foram estimadas as relações da informação (RI), onde é observado que o primeiro eixo componente apresenta valor acima de um, no caso entre 2,06 e 3,65, para os cinco caracteres, desta forma englobando contribuições predominantemente de efeitos genéticos e não ambientais, e no segundo componente pode-se considerar que existe padrão para %CF e NOC. Apesar da RI não ter sido acima de 1 no segundo eixo componente em ANT, NMP e NOI, este ainda pode conter alguma informação independente e de importância, então o uso do biplot de dimensão 2 pode ser considerada a que representa o padrão dos dados, em conformidade ao citado por Yan e Tinker (2006). Os demais eixos componentes (PC3 e PC4) não contêm padrão ( $R < 1$ ), que demonstre algum efeito de interação, sendo constituído apenas por ruídos. Sendo que a variância acumulada para os dois primeiros eixos foi superior ao observado em caracteres de produção de castanha por Yokomizo et al. (2021), enquanto a relação de informação foi similar.

Para o caráter porcentagem de castanha furada (Figura 1<sup>a</sup>), as retas com origem no centro, constituem cinco mega-ambientes, com cada ano, responsável pelos efeitos estocásticos (aleatórios e não controláveis), com o maior grupo de clones no mega-ambiente A2019. Para nota para antracnose (Figura 1B) há a formação de sete diferentes mega-ambientes, sendo que a maior parte dos clones não está presente naqueles que contém ao menos um ano. Para nota de mofo preto (Figura 1C) há a formação de oito mega-ambientes, com concentração de três anos em um dos mega-ambientes; para nota de oídio na castanha (Figura 1D) há a formação de sete mega-ambientes e, em nota de oídio na inflorescência (Figura 1E)

há a composição de seis mega-ambientes. Importante se destacar o quantitativo de mega-ambientes distintos que foram constituídos para cada caráter que variou de cinco até oito mega-ambientes, sendo que Aliyu et al. (2014) também com cajueiros obteve um total de sete mega-ambientes.

Figura 1 – Indicativo de quais das progênie apresentaram melhor desempenho e em que anos pelo GGE biplot (“Which-won-where”) para os caracteres em clones de cajueiro-anão. As linhas vermelhas contínuas delimitam setores que definem os mega-ambientes. Sendo A: porcentagem de castanha furada (%CF); B: nota para antracnose (ANT); C: nota para mofo preto (NMP); D: nota para oídio na castanha (NOC) e E: nota para oídio na inflorescência (NOI).



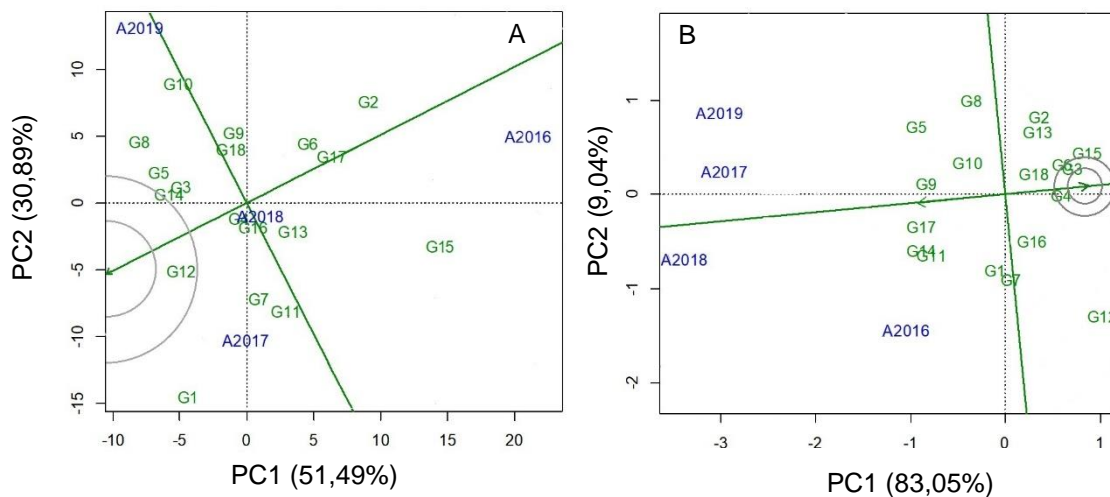
Fonte: os autores, 2024.

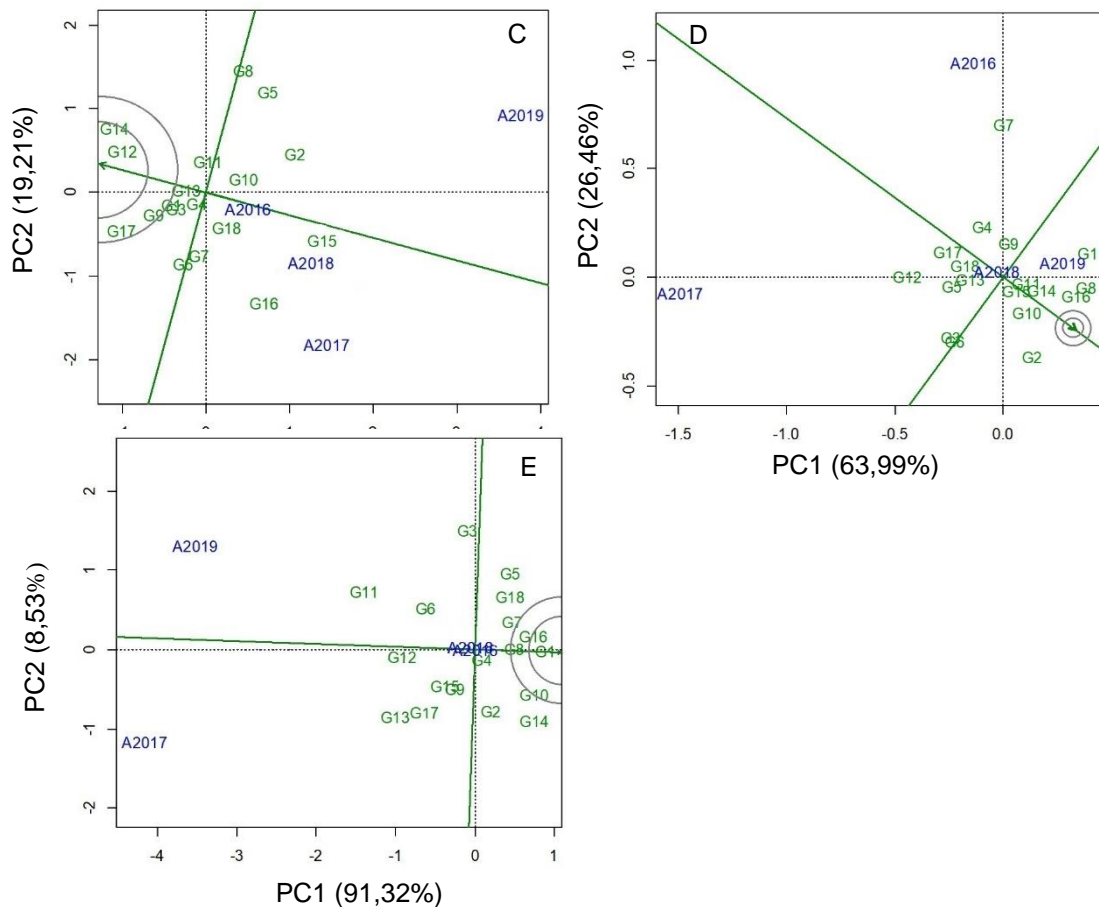
No geral os clones na sua maioria não apresentaram especificidade a qualquer das condições ambientais oferecidas (anos), exceto, para G10 no ano 2019, por estar no vértice do polígono em 1ª; G1, G7 e G11 para 2017 em 1ª; G11 e G14 para 2016 em 1B; G15 para 2018, G16 para 2017 em 1C; G7 para 2016, G1 para 2019 em 1D. O comportamento da formação de um número diferenciado de mega-ambientes para cada caráter avaliado, assim como a dispersão e a especificidade ou não de clones a determinados ambientes segue o mesmo padrão observado por Aliyu et al. (2014) e em caracteres de produtividade por Yokomizo et al. (2021).

Um genótipo “ideótipo” é um modelo hipotético de uma espécie, que representa a forma ideal de planta em determinado ambiente, com caracteres morfoagronômicos bem definidos e correlacionados positivamente com a produtividade (Trethowan, 2014). Apesar do genótipo ideal ser apenas um modelo representativo, sua identificação é usada como referência na avaliação dos demais genótipos. A análise gráfica do GGE Biplot “Média versus Estabilidade” consiste em um protocolo efetivo para avaliar genótipos para aspectos referentes ao desempenho e estabilidade (Yan & Tinker, 2006; Yan et al., 2007; Yan, 2011) e adicionalmente identificar quais indivíduos se aproximam do ideótipo almejado.

A localização gráfica do ideótipo no GGE Biplot (Figura 2ª, 2B, 2C, 2D e 2E) é o ponto central de círculos concêntricos, onde os clones que estiverem nas proximidades deste centro ou nos primeiros circuncírculos são os que se consideram promissores.

Figura 2 – Classificação das progênes em relação ao ideótipo (no centro dos círculos concêntricos) pelo GGE biplot com eixo do ambiente-média (EAM) para os caracteres em clones de cajueiro-anão. Sendo A: porcentagem de castanha furada (%CF); B: nota para antracnose (ANT); C: nota para mofo preto (NMP); D: nota para oídio na castanha (NOC) e E: nota para oídio na inflorescência (NOI).



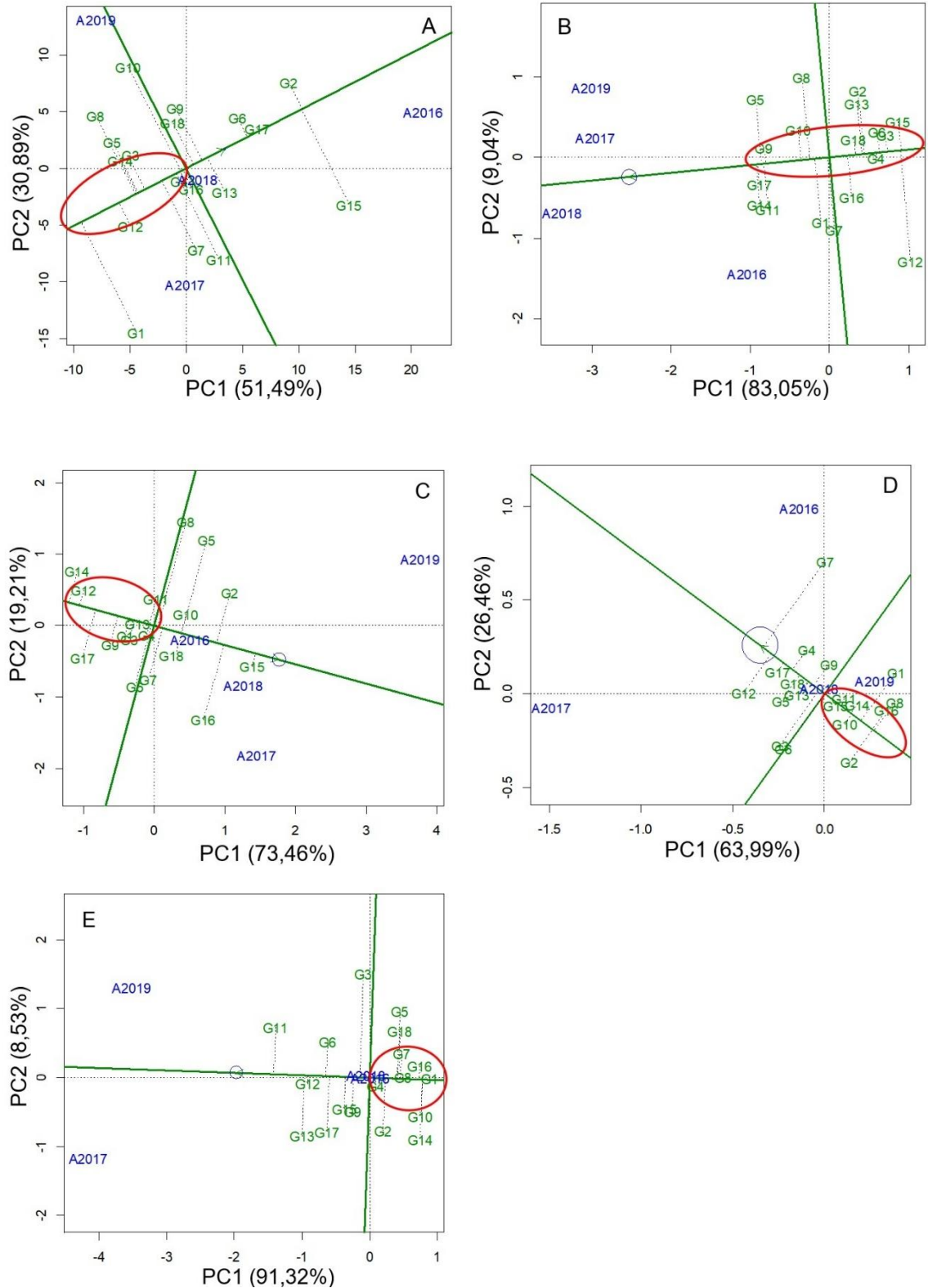


Fonte: Elaborado pelos autores.

O ideótipo nas Figuras 2<sup>a</sup> e 2C, busca obter materiais com contribuições negativas no GGE Biplot, com isso, G12 destaca-se para porcentagem de castanha furada (Figura 2<sup>a</sup>), seguido por G14, G3 e G5. Para nota de antracnose (Figura 2B) tem-se como destaques G4, G3, G6 e G15; para nota de mofo preto (Figura 2C) tem-se como promissores G12, G14, G17, G9; para nota de oídio na castanha (Figura 2D) tem-se G16, G8, G2, G10 e G14 e; para nota de oídio na inflorescência (Figura 2E) tem-se G1, G16, G8 e G10. Notando-se que G14 se destacou em três caracteres. Constata-se que existe um quantitativo diferenciado de possíveis clones nos caracteres que se aproximam do ideótipo, comportamento este semelhante para produtividade observado por Yokomizo et al. (2021), além disso aqui houve a presença de clone mais assemelhados ao ideótipo em relação aos resultados obtidos por Aliyu et al. (2014).

O GGE Biplot “Média versus Estabilidade” torna-se efetivo para avaliar os clones em relação aos aspectos de desempenho e estabilidade (Yan & Tinker, 2006; Yan et al., 2007; Yan, 2011), sendo que materiais genéticos mais estáveis são aqueles situados nas proximidades da origem dos eixos (Yan, 2002; 2011). Nas Figuras 3<sup>a</sup> a 3E, a linha reta, ou eixo, contendo uma seta, recebe a denominação de “eixo do ambiente-média” ou “EAM”, onde os clones que ultrapassam a ponta da seta são os que apresentaram contribuição média superior entre os materiais avaliados, conforme Yan (2002) e Yan (2011). Contudo, aqui na situação de caracteres relacionados a fitossanidade, deseja-se observar os resultados no sentido oposto da seta.

Figura 3 – Desempenho médio e estabilidade das progênies pelo GGE biplot (“Média versus Estabilidade”) com eixo do ambiente-média (EAM) para os caracteres em clones de cajueiro-anão. Sendo A: porcentagem de castanha furada (%CF); B: nota para antracnose (ANT); C: nota para mofo preto (NMP); D: nota para oídio na castanha (NOC) e E: nota para oídio na inflorescência (NOI).



Fonte: Elaborado pelos autores.

Quanto a estabilidade, programas de melhoramento buscam associar materiais produtivos à adaptabilidade, conforme Haldavankar et al. (2009) e Eradasappa et al. (2024). Portanto, considerando a Figura 3<sup>a</sup>, os clones G2, G6 e G17, que associam contribuição positiva (que seriam maior quantidade de danos) e estabilidade, são os menos adequados para a redução de castanha furada. Em contrapartida, G12, G14 e G3 mostraram-se mais adequados, por representar materiais com menor quantitativo de danos, evidenciando-se pela proximidade ao eixo PC1.

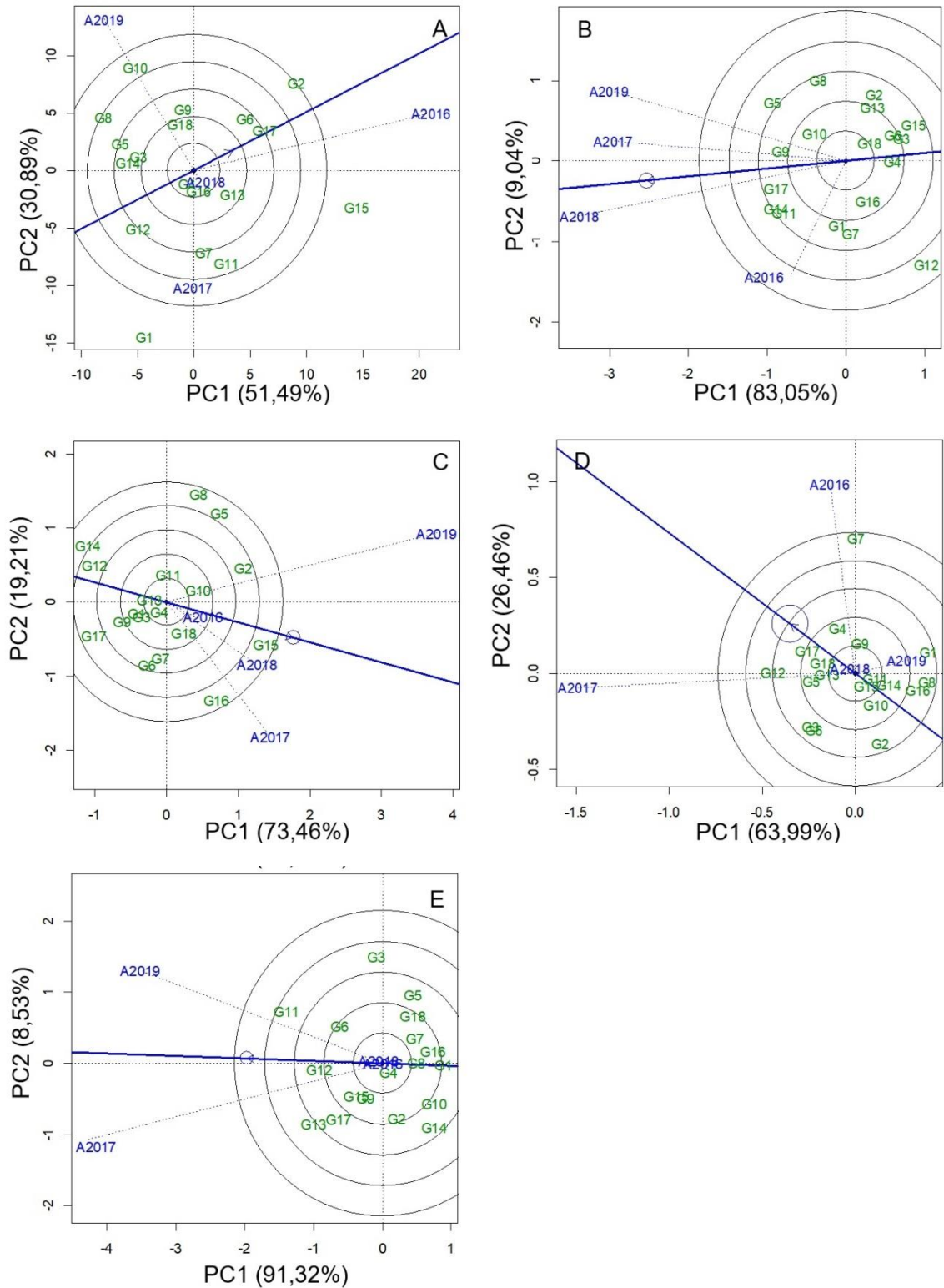
Para nota de antracnose (Figura 3B) os clones com desempenho relativo inferior seriam na sequência G17, G9, G14 e G11, enquanto os mais desejáveis seriam G15, G3, G4 e G6. Para nota de mofo preto (Figura 3C) os com contribuições inadequadas ao objetivo de melhoramento seria G15, com as de maior interesse sendo G14 e G12. Para nota de oídio nas castanhas (Figura 3D) os piores seriam G17, G4 e G18 e os que podem ser considerados superiores, G16, G8 e G10 e G14 e, finalmente para nota de oídio na inflorescência (Figura 3E) os inferiores seriam G12, G6 e G15, tendo-se como melhores os clones G1, G8, G16 e G7.

Essa proximidade ou distanciamento dos materiais genético em relação aos eixos, que são representativos da estabilidade e da seta que se relaciona a contribuição positiva em determinados caracteres também ocorreu no trabalho de Aliyu et al. (2014), onde vários materiais genéticos nos caracteres avaliados ultrapassaram a seta, enquanto aqui somente %CF teve este desempenho e naqueles caracteres onde não se nota clone acima da seta foi similar ao citado por Yokomizo et al. (2021).

Um ambiente de teste ideal que possibilita a identificação e seleção de genótipos superiores é aquele com maior capacidade discriminativa ou diferenciadora, assim como possuidor de representatividade em relação aos demais ambientes (Pereira et al., 2017).

Os ambientes com vetores mais longos podem ser considerados como mais discriminativos, em contrapartida, os que apresentam vetores mais curtos possuem menor capacidade discriminativa, fornecendo pouca ou nenhuma informação sobre os clones, e desta forma, descartados (Yan, 2016). Um ambiente de teste é considerado mais representativo em relação aos demais, quando apresenta um menor ângulo com EAM (linha que passa pelo ambiente médio e a origem biplot). Adicionalmente os ambientes com vetores curtos são menos discriminantes, ou seja, geram pouca contribuição para a variabilidade e com isso não sendo responsáveis pela amplitude da variação (Hongyu et al., 2015), já os com vetores longos são aqueles que mais contribuíram para as variações.

Figura 4 – GGE biplot “discriminação e representatividade” para mostrar a capacidade de discriminação e representatividade dos ambientes de teste em comparação aos materiais genéticos para os caracteres em clones de cajueiro-anão. Sendo A: porcentagem de castanha furada (%CF); B: nota para antracnose (ANT); C: nota para mofo preto (NMP); D: nota para oídio na castanha (NOC) e E: nota para oídio na inflorescência (NOI).



Fonte: Elaborado pelos autores.

Desta forma, conforme as Figuras 4<sup>a</sup> a 4E, observa-se que no geral os anos contribuíram mais para as variações, ou seja, foram responsáveis em conter fatores que geraram maior parte da interação GxA em relação a maioria dos clones. Dos clones, os que responderam aos efeitos de discriminação de anos tem-se G1, G2 e G15 para porcentagem de castanha furada, G12 para nota de antracnose, G2, G5, G8, G15 e G16 para nota de mofo preto, G7 para nota de oídio nas castanhas e G3 e G11 para nota de oídio nas inflorescências. Observando-se claramente a mesma tendência tanto para ambientes como para os materiais genéticos citados por Aliyu et al. (2014) e Yokomizo et al. (2021).

Outra possibilidade de interpretação da Figura 4 é especificar anos que representam a média de todos os demais, como 2016 e 2018 para porcentagem de castanha furadas e nota de oídio na inflorescência; apenas 2016 para nota de mofo preto e 2018 para nota de antracnose e nota de oídio na castanha. Estes anos geraram os menores ângulos com o eixo do ambiente-média, e então podem ser considerados aqueles que disponibilizaram fatores estocásticos médios de todos os demais, tendo capacidade de representar todos os demais anos.

#### 4 CONCLUSÕES

A presença da dispersão dos clones nos gráficos indica a presença de variabilidade disponível para fins de selecionar aqueles de melhor adaptabilidade e estabilidade para Pacajus a partir de caracteres fitossanitários em relação as condições ambientais disponibilizadas.

Na identificação do ideótipo, que associa os melhores desempenhos quanto a estabilidade e média, tem-se G12 como destaque para porcentagem de castanha furada, seguido por G14, G3 e G5. Para nota de antracnose os destaques são G4, G3, G6 e G15; para nota de mofo preto são G12, G14, G17, G9; para nota de oídio na castanha são G16, G8, G2, G10 e G14 e; para nota de oídio na inflorescência tem-se G1, G16, G8 e G10. Nota-se que G14 se destacou em três caracteres.

No geral efeitos não controláveis dos diferentes anos contribuem mais intensamente que as diferenças genéticas dos clones para a interação GxA.

#### REFERÊNCIAS

- Abreu, H. K. A. de, Ceccon, G., Corrêa, A. M., Fachinelli, R., Yamamoto, E. L. M., & Teodoro, P. E. (2019). Adaptability and stability of cowpea genotypes via REML/BLUP and GGE BILOT. *Bioscience Journal*, 35(4), 1071–1082. <https://doi.org/10.14393/bj-v35n4a2019-42125>
- Adewale, B. D., Okonji, C., Oyeranmi, A. A., Akintobi, D. A. C., & Aremu, C. (2010). Genotypic variability and stability of some grain yield components of Cowpea. *African Journal of Agricultural Research*, 5(9), 874-880. <http://www.academicjournals.org/AJAR>
- Alexandre, F. T., & Motta, R. (2013). O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.): de 14undial da cultura nordestina a arvore testemunha da 14undialização da

economia e dos modos de vida. *Revista do Instituto Arqueológico, Histórico e Geográfico Pernambucano*, 1(68), 13-42.

- 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 and Biotechnology*, 2(4), 354–369. <https://doi.org/10.9787/PBB.2014.2.4.354>.
- Almeida, L. H. F. D., Cordeiro, S. A., Pereira, R. S., Couto, L. C., & Lacerda, K. W. D. S. (2017). Viabilidade econômica da produção de caju (*Anacardium occidentale* L.). *Nativa*, 5(1), 09–15. <https://doi.org/10.31413/nativa.v5i1.4115>
- Araújo, J. P. P. (2013). *Agronegócio caju: práticas e inovações*. Embrapa
- Araújo, J. P. P. (2015). *CAJU: O produtor pergunta, a Embrapa responde* (2ª ed.). Embrapa Agroindústria Tropical; Embrapa Informação Tecnológica.
- Bello, O. D., Ahoton, E. L., Ezin, V. A., Saïdou, A., Akponikpè, P. B. I., Balogoun, I., & Aho, N. (2019). Genotype-Environment (GxE) interaction on cashew (*Anacardium occidentale* L.) cultivar productivity components in Benin. *Global Journal of Plant Breeding and Genetics*, 6(3), 471–483. <http://www.globalscienceresearchjournals.org/>
- Câmara dos deputados. (2025). *Projeto de Lei PL 2259/2024*. <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2459608>
- Cardoso, J. E., & Freire, F. C. O. (2002). *Identificação e manejo das principais doenças. Caju Fitossanidade*. Embrapa Informação Tecnológica.
- Carvalho, L. C. B., Kaesel, J. D. S., Maurisrael, D. M. R., & Giancarlo, C. X. O. (2016). Evolution of methodology for the study of adaptability and stability in cultivated species. *African Journal of Agricultural Research*, 11(12), 990–1000. <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.10596>
- Cruz, C. D., Carneiro, P. C. S., & Regazzi, A.J. (2014). *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético* (3a ed.). Editora UFV.
- Eradasappa, E., Mohana, G. S., Poduval, M., Sethi, K., Rani, M. S. A., Lourdasamy, I. K., Velmurugan, S., Manjusha, M., Raviprasad, T. N., & Anilkumar, C. (2024). Analysis of stability for nut yield and ancillary traits in cashew (*Anacardium occidentale* L.). *Scientific Reports*, 14(1), 2127. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-52030-6>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2014). *Statistic Division*.
- Freire, F. C. O., Cardoso, J. E., Santos, A. A. dos, & Viana, F. M. P. (2002). Diseases of cashew nut plants (*Anacardium occidentale* L.) in Brazil. *Crop Protection*, 21(6), 489–494. [https://doi.org/10.1016/s0261-2194\(01\)00138-7](https://doi.org/10.1016/s0261-2194(01)00138-7)

- Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. (2023). *Portal Hidrológico do Ceará – Calendário das Chuvas no Estado do Ceará*.  
<http://www5.funceme.br/app/calendario/produto/municipios/maxima/anual>.
- Gerrano, A. S., Rensburg, W. S. J. van, Mathew, I., Shayanowako, A., Bairu, M. W., Venter, S. L., Swart, W. J., Mofokeng, A., Mellem, J. J., & Labuschagne, M. (2020). Genotype and genotype × environment interaction effects on the grain yield performance of cowpea genotypes in dryland farming system in South Africa. *Euphytica*, 216(5). <https://doi.org/10.1007/s10681-020-02611-z>
- Haldavankar, P. C., Joshi, G. D., Bhave, S. G., Klandekar, R. G., & Sawant, S. S. (2009). Stability of yield and yield attributing phenotypic characters in sweet potato. *Journal of Root Crops*, 35(1), 28-35.
- Hongyu, K., Silva, F. de L., Oliveira, A. C. S. de, Sarti, D. A., Araújo, L. B. de, & Dias, C. T. dos S. (2015). Comparação entre os modelos AMMI e GGE biplot para os dados de ensaios multi-ambientais. *Revista Brasileira de Biometria*, 33(2), 139–155.
- Instituto Caju Brasil. (2020). O agronegócio do caju em números. *Boletim ICB*, (7).  
[https://cajubrasil.org/wp-content/uploads/2020/05/Boletim-ICB\\_7.pdf](https://cajubrasil.org/wp-content/uploads/2020/05/Boletim-ICB_7.pdf)
- International Nut and Dried Fruit Council Foundation (2022). *Nuts & Dried Fruits Statistical Yearbook*.  
[https://www.nutfruit.org/files/tech/1651579968\\_Statistical\\_Yearbook\\_2021-2022.pdf](https://www.nutfruit.org/files/tech/1651579968_Statistical_Yearbook_2021-2022.pdf)
- Maia, M. C. C., Almeida, A. S., Araujo, L. B., Dias, C. T. S., Oliveira, L. C., Yokomizo, G. K. I., Rosado, R. D. S., Cruz, C. D., Vasconcelos, L. F. L., Lima, P. S. C., & Medina-Macedo, L. (2019). Principal component and biplot analysis in the agro industrial characteristics of *Anacardium* spp. *European Scientific Journal*, 15, 21-31. <https://doi.org/10.19044/esj.2019.v15n30p21>
- Maia, I. C. da S., Macedo, E. B. C., Santos, L. P. dos., Bordin, E. de O., Lima, L. de O., Feihmann, A. C., Marcolino, V. A., Barão, C. E., & Pimentel, T. C. (2025). Ultrasound as an alternative for pasteurization of cashew nut milks: Improvements in the rheological and technological properties, fatty acid profile and acceptance. *Food Bioscience*, 63, 105649.  
<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.105649>
- Malosetti, M., Ribaut, J., & Eeuwijk, F. A. van. (2013). The statistical analysis of multi-environment data: modeling genotype-by-environment interaction and its genetic basis. *Frontiers in Physiology*, 4.  
<https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00044>
- Mesquita, A. L. M., & Braga Sobrinho, R. (2013). Pragas e doenças do cajueiro. In J. P. P. Araújo (Ed.). *Agronegócio caju: práticas e inovações* (pp.195-215). Embrapa,.

- Mesquita, A. L. M., Mota, M. S. C. S., Oliveira, M. N. C. S., & Fuck Júnior, S. C. F. (2020). Metodologia de avaliação e graus de infestação da traça-da-castanha em clones de cajueiro. In G. de F. Seabra (org.). *Educação ambiental: o desenvolvimento sustentável na economia globalizada* (pp. 623-632). Barlavento
- Muthoni, J., Shimelis, H., & Melis, R. (2015). Genotype x Environment Interaction and Stability of Potato Tuber Yield and Bacterial Wilt Resistance in Kenya. *American Journal of Potato Research*, 92(3), 367–378. <https://doi.org/10.1007/s12230-015-9442-z>
- Nair, K. P. (2021). Cashew Nut (*Anacardium occidentale* L.). In K. P. Nair, *Tree Crops* (p. 27–77). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-62140-7\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-62140-7_2)
- Oiram Filho, F. (2017). *Isolamento em escala preparativa de ácidos anacárdicos provenientes do líquido da casca da castanha do caju (LCC)*. [Dissertação de mestrado, Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Ceara].
- Oliveira, N. N., Mothé, C. G., Mothé, M., & Oliveira, L. G. (2020). Cashew nut and cashew apple: a scientific and technological monitoring worldwide review. *Journal of Food Science and Technology*, 57(1), 12-21. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04051-7>
- Owusu, E. Y., Amegbor, I. K., Mohammed, H., Kusi, F., Atopkle, I., Sie, E. K., Ishahku, M., Zakaria, M., Iddrisu, S., Kendey, H. A., Boukar, O., Fatokun, C., & Nutsugah, S. K. (2020). Genotype x environment interactions of yield of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) inbred lines in the Guinea and Sudan Savanna ecologies of Ghana. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 23(5), 453–460. <https://doi.org/10.1007/s12892-020-00054-5>
- Pereira, H. S., Alvares, R. C., Silva, F. D. C., Faria, L. C. D., & Melo, L. C. (2017). Efeito genético, ambiental e interação genótipos x ambientes na qualidade comercial e produtividade de grãos em feijoeiro-comum. *Semina: Ciências Agrárias*, 38(3), 1241. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n3p1241>
- 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*. UFLA.
- Salehi, B., Gültekin-Özgülven, M., Kırkın, C., Özçelik, B., Morais-Braga, M. F. B., Carneiro, J. N. P., Bezerra, C. F., Silva, T. G. D., Coutinho, H. D. M., Amina, B., Armstrong, L., Selamoglu, Z., Sevindik, M., Yousaf, Z., Sharifi-Rad, J., Muddathir, A. M., Devkota, H. P., Martorell, M., Jugran, A. K., ... Cho, W. C. (2019). *Anacardium* Plants: Chemical, Nutritional Composition and Biotechnological Applications. *Biomolecules*, 9(9), 465. <https://doi.org/10.3390/biom9090465>

- Serrano, L. A. L. (2016). *Sistema de produção do caju* (2. ed.). Embrapa Agroindústria Tropical.  
<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1052862>
- T
- rethowan, R. M. (2014). Defining a Genetic Ideotype for Crop Improvement. Em D. Fleury & R. Whitford (Org.), *Crop Breeding: Methods and Protocols*. (V. 1145, p. 1–20). Springer New York. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-0446-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-0446-4_1)
- Yan, W. (2002). Singular-value partitioning in biplot analysis of multienvironment trial data. *Agronomy Journal*, 94(5), 990-996.
- Yan, W. (2011). GGE Biplot vs. AMMI Graphs for Genotype-by-Environment Data Analysis. *Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics*, 65(2), 181-193.
- Yan, W. (2014). *Crop variety trials: data management and analysis*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118688571>
- Yan, W. (2016). Analysis and handling of G × E in a practical breeding program. *Crop Science*, 56(5), 2106-2118. <https://dl-sciencesocieties-org.ez102.periodicos.capes.gov.br/publications/cs/abstracts/56/5/2106>
- Yan, W., & Kang, M. S. (2003). *GGE biplot analysis: a graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists*. CRC press.
- Yan, W., & Tinker, N. A. (2006). Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science*, 86(3), 623–645. <https://doi.org/10.4141/p05-169>
- Yan, W., Hunt, L. A., Sheng, Q., & Szlavnic, Z. (2000). Cultivar Evaluation and Mega-Environment Investigation Based on the GGE Biplot. *Crop Science*, 40(3), 597–605. <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.403597x>
- Yan, W., Kang, M. S., Ma, B., Woods, S., & Cornelius, P. L. (2007). GGE Biplot vs. AMMI Analysis of Genotype-by-Environment Data. *Crop Science*, 47(2), 643–653. <https://doi.org/10.2135/cropsci2006.06.0374>
- Yang, R., Crossa, J., Cornelius, P. L., & Burgueño, J. (2009). Biplot Analysis of Genotype × Environment Interaction: Proceed with Caution. *Crop Science*, 49(5), 1564–1576. <https://doi.org/10.2135/cropsci2008.11.0665>
- Yokomizo, G. K. I., Kuang, H., Neto, F. das C. V., Melo, D. S., & Serrano, L. A. L. (2021). Graphical analysis to determine the stability and adaptability of yield characteristics of dwarf cashew trees. *Revista Agro Ambiente On-Line*, 15. <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v15i0.7113>