



Desempenho precoce de diferentes porta-enxertos com limão ‘Tahiti’ por análises biplot no município de Capitão Poço, Pará

Submissão: 02/06/2025

Aceite: 15/09/2025

Fabio de Lima Gurgel¹, Gilberto Ken Iti Yokomizo^{2*}, Walter dos Santos Soares Filho³, Kuang Hongyu⁴, Eduardo Augusto Girardi⁵, Orlando Sampaio Passos⁶

¹Embrapa Eastern Amazon, Tv. Dr. Enéas Pinheiro, s/n, Bairro Marco, Belém - PA, CEP 66095-903, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5549-3354>

²Embrapa Amapá, Rod. Josmar Chaves Pinto, 2600, Bairro Universidade, Macapá - AP, CEP 68903-419, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3790-4981>

³Embrapa Cassava and Fruits, Rua Embrapa, s/n, Bairro Chapadinha, Cruz das Almas - BA, CEP 44380-000, ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5410-3740>

⁴Federal University of Mato Grosso, Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367, Bairro Boa Esperança - Cuiabá - MT CEP 78060-900, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8320-9074>

⁵Embrapa Cassava and Fruits, Rua Embrapa, s/n, Bairro Chapadinha, Cruz das Almas - BA, CEP 44380-000, ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4839-5227>

⁶Embrapa Cassava and Fruits, Rua Embrapa, s/n, Bairro Chapadinha, Cruz das Almas - BA, CEP 44380-000, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0851-6541>

Autor para correspondência: Gilberto Ken Iti Yokomizo – gilberto.yokomizo@embrapa.br

Resumo: As frutas cítricas possuem grande destaque para o agronegócio nacional, encontrando no Brasil, condições ecológicas mais favoráveis em comparação ao seu local de origem, para se desenvolver vegetativamente e em produção, e com isso, pode-se espalhar seus plantios em todo o território nacional, inclusive na região Norte do país como o Estado do Pará. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho precoce de diferentes porta-enxertos com limão ‘Tahiti’ no município de Capitão Poço, Pará. O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados, quatro repetições e 10 plantas por parcela. Avaliaram-se as características: PF: peso total dos frutos, em kilograma; DAM: diâmetro 5 cm acima da cicatriz de enxertia, em centímetros; DDC: diâmetro 5 cm abaixo da cicatriz de enxertia, em centímetros. As análises empregadas foram gráficas AMMI e GGE Biplot obtendo-se como principais conclusões de que o melhor desempenho associando estabilidade em AMMI, no caso a combinação B10, não foi superior em GGE Biplot, pois na verdade pouco contribuiu positivamente para as médias e; na AMMI B8 e B10 em PF, B8 e B7 em DAC e DDC, são de maiores contribuições para as médias, contudo pecam pela estabilidade, enquanto em GGE Biplot foram considerados os superiores.

Palavras chave: *Citrus latifolia* Tanaka, análise gráfica, estabilidade, adaptabilidade, melhoramento genético de perenes

1. Introdução

A região do mundo onde o gênero *Citrus* se originou é incerta, devido a inexistência de registros e como foi realizado o deslocamento e plantio das plantas, pois o consumo e transporte das frutas e sementes, permitindo a disseminação é realizada há séculos. Tendo-se o primeiro registro sobre as espécies do gênero *Citrus* na China, com cerca de 2000 a.C. como sua data de redação. No desenvolvimento da ciência hoje é aceito que o *Citrus* tem sua origem nas regiões sul e sudeste do continente asiático, nas áreas com presença de climas tropicais e subtropicais (SIQUEIRA; SALOMÃO, 2017).

No Brasil, com a presença de condições ecológicas favoráveis, as plantas cítricas se adaptaram de forma excepcional apresentando desenvolvimento vegetativo e produtivo acima do local de origem, conseguindo se expandir seus plantios em todo o território nacional (LOPES et al., 2011), permitindo que a citricultura se destaque no agronegócio brasileiro, gerando além da produção quantitativa um contingente importante de empregos e pela contribuição para a economia nacional (BARROS et al., 2016; NEVES; TROMBINI, 2017).

O limão (*Citrus limon*), pertencente à família Rutaceae, representa a terceira espécie cítrica com maior importância mundial. No Brasil as plantas tiveram sua origem da Florida, Estados Unidos, cujas características de destaque são suas propriedades nutricionais, farmacêuticas e cosméticas, além de seu destacado sabor. A espécie não tolera baixas temperaturas (KLIMEK-SZCZYKUTOWICZ et al., 2020), semelhante aos demais frutos cítricos do gênero *Citrus*. Especificamente sobre o limão “Tahiti” (*Citrus latifolia* Tanaka) tem-se conhecimento que representa uma variedade híbrida, oriunda do cruzamento entre o limão Siciliano e a Lima-da-Pérsia, sendo que na Europa é denominada de Lima Ácida ou Lima Ácida Tahiti. Sua introdução no Brasil provavelmente ocorreu diretamente de plantas de alguma região do Mediterrâneo a partir do século XVII (ROSSI; PANDOLFI, 2019).

Sobre a produção brasileira de limões teve-se aproximadamente 1,5 milhões de toneladas, gerando cerca de R\$ 1,495 milhões numa área de 58 mil ha e com rendimento de quase 26 toneladas por ha (IBGE, 2021). Deste total o Estado do Pará em 2021 colheu em uma área de quase 4 mil ha, atingindo uma produção de 85 mil toneladas, com um valor econômico de R\$ 48 milhões e rendimento médio de 23 toneladas por ha. A União Europeia no comércio internacional é o principal comprador de limões e limas (ROSSI; PANDOLFI, 2019) e, além disso, a fruta tem se popularizando na Europa com tendência de aumento do consumo neste continente (GERALDINI; RIBEIRO, 2019).

No Brasil por sua dimensão continental e clima propício, tem-se disponibilidade de extensas áreas para cultivo de frutas, onde se insere o limão. Existindo um complicador que são reflexo do tamanho do país que é formação de distintas combinações de efeitos



ambientais, envolvendo fatores edafoclimáticas, tratos culturais e a ocorrência de agentes patogênicos em diferentes intensidades e formas, estas combinações geram inúmeras respostas fenotípicas, oriunda da ação do genótipo sob a influência do meio, gerando o que se denomina de interação genótipos x ambientes (GxA), sendo o efeito que promove significativas diferenças no desempenho das plantas quando estas são cultivadas em diferentes locais (CRUZ et al., 2014). A presença deste efeito é o principal complicador para a tomada de decisão na seleção dos melhores genótipos vegetais.

Com a presença de interação GxA o desempenho relativo de determinados genótipos, ou aqui no caso das plantas, altera-se quando o ambiente é modificado, e isso ocorre por diferentes respostas de um mesmo conjunto de genes a mudanças ambientais, ou expressão de diferentes conjuntos de genes em diferentes fatores ambientais (MUTHONI et al., 2015). A manifestação da interação GxA não tem ferramentas para se evitar sua presença devido ser uma resposta fisiológica das plantas a cada fator distinto disponível tanto em termos de presença como também de intensidade (ADEWALE et al., 2010) e sua ocorrência desta forma gera inúmeras dificuldades ao melhorista (CARVALHO et al., 2016). Uma opção adotada para minimizar o efeito dessa interação é a escolha de indivíduos que possuam adaptabilidade e estabilidade (MALOSETTI et al., 2013; CRUZ et al., 2014).

Para essa interação os programas de melhoramento genético conforme citam Ramalho et al. (2012), podem empregar três opções mitigadoras: identificando cultivar(es) específica(s) para cada ambiente; identificando cultivar(es) com maior estabilidade fenotípica e a terceira é obtendo estratificações ambientais. Tais informações de comportamento que permitem a adoção de uma das mitigações devem ser obtidas através principalmente de algum tipo de análise estatística ou gráfica nos materiais genéticos e ambientes envolvidos na pesquisa.

Uma alternativa gráfica que tem despertado interesse para efetivar os estudos da interação GxA é a análise denominada de “Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Model” ou simplesmente AMMI, que gerar uma visualização dos padrões de interação e com isso permite sua interpretação e compreensão, discriminando eficazmente os fatores genéticos e ambientais envolvidos e, assim, gerando melhores estimativas das respostas genotípicas em diferentes condições ambientais (DIAS, 2014).

Outra importante metodologia desenvolvida para análises dos efeitos da interação GxE é intitulada de GGE biplot que permite a visualização apoiada em gráficos biplots, do agrupamento visual de ambientes ou mega ambientes e identificação dos genótipos com desempenho superior para ambientes específicos; também a seleção de genótipos quanto a relação média vs. estabilidade; adicionalmente tem-se a discriminação vs. representatividade e escolha do genótipo ideal (ideótipo) (YAN, 2001; YAN; KANG, 2003; YAN; TINKER, 2006; YAN; HOLLAND, 2010; YAN, 2011).

Com base nestas informações, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da interação genótipo x ambiente (GxE) em dados de precocidade de clones de limão visando identificar os genótipos mais responsivos e adequados aos níveis de variação ambiental empregando as análises gráficas AMMI e GGE Biplot.

2. Material e Métodos

O experimento foi conduzido na zona rural do município de Capitão Poço, estando localizado na região nordeste do estado do Pará, na propriedade denominada de Fazenda Lima, possuidora das geográficas de 01°44'47" S e 47°03'34" O. O município de Capitão Poço tem amplitude de temperatura com variação de 25,7 a 26,9 °C, com média anual de 26,2 °C (SILVA et al., 2011). Está englobada na classificação de Köppen, como um local possuidor de clima do tipo Am (tropical de altitude), com precipitação anual total em torno de 2.500 mm, com presença de curta estação seca entre setembro e novembro (precipitação mensal em torno de 60 mm), e umidade relativa do ar entre 75 e 89 % nos meses com menor e maior precipitação, respectivamente (SCHWART, 2007).

O delineamento experimental adotado foi de blocos casualizados, sendo os tratamentos a combinação de quatro enxerto/porta-enxertos identificados na Tabela 1, com quatro repetições e tendo 10 plantas vivas por parcela, totalizando um estande de 160 plantas e o enxerto sendo a limeira ácida ‘Tahiti’ [*Citrus latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka].

Tabela 1 – Identificação dos porta-enxertos com limeira ácida ‘Tahiti’. Fazenda Lima, Capitão Poço, PA.

Nº	Denominação
B1	Cravo Santa Cruz (<i>C. limonia</i> Osbeck)
B7	Híbrido LVK (limoeiro ‘Volkameriano’ <i>C. volkameriana</i> V. Ten. & Pasq.) x LCR (limoeiro ‘Cravo’) - 010
B8	Tangerineira ‘Sunki Tropical’ [<i>C. sunki</i> (Hayata) hort. ex Tanaka]
B10	Citrandarin ‘San Diego’ (TSK x TRENG – 314)

As características avaliadas nas plantas foram:

PF: peso total dos frutos, somatório do total de frutos produzidos na planta, medido em quilograma;

DAM: diâmetro acima da cicatriz de enxertia, avaliado 5 cm acima da linha de enxertia, medido em centímetros;

DDC: diâmetro abaixo da cicatriz de enxertia, avaliado 5 cm acima da linha de enxertia, medido em centímetros.

2.1. Análise gráfica AMMI

A análise AMMI, conforme procedimento é descrito por Duarte e Vencovsky (1999) emprega o modelo:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + a_j + \sum_{k=1}^n \lambda_k \gamma_{ik} \alpha_{jk} + \rho_{ij} + \varepsilon_{ij}, \text{ onde tem-se: } Y_{ij} \text{ como sendo a resposta média das repetições da } i\text{-ésima}$$



combinação enxerto/porta-enxerto ($i = 1, 2, 3$ e 4) no j -ésimo ano ($j = 1, 2, 3, \dots, a$); μ é a média de todas as combinações enxerto/porta-enxerto em todos os anos (média geral); g_i representa o efeito principal da combinação enxerto/porta-enxerto “ i ”; a_j representa o efeito principal do ano “ j ”; λ_k , γ_{ik} e α_{jk} são referentes aos termos da decomposição singular (DVS) também recebendo a denominação de análise de componentes principais (ACP) da matriz $GE_{gxa} = \{(ga)_{ij}\}$, que são capazes de mostrar e capturar o “padrão” referente à interação da combinação enxerto/porta-enxerto “ i ” com a ano “ j ”, onde $(ga)_{ij}$ representa os desvios de aditividade dos dados (Y_{ij}) em relação aos efeitos principais g_i e a_j ; P_{ij} representa o ruído adicional a ser eliminado na análise, relativamente ao termo $(ga)_{ij}$ considerado geralmente como a própria interação; e $\bar{\epsilon}_{ij}$ é o erro experimental médio, em nível de médias de repetições.

A análise AMMI para ser efetuada passa por duas etapas sequenciais: 1ª) os efeitos principais, na parte aditiva do modelo (média geral, efeitos das combinações enxerto/porta-enxerto e anos), sendo ajustados por uma análise de variância (ANOVA), produzindo um resíduo de não aditividade: $(\hat{g}\hat{a})_{ij} = Y_{ij} - \bar{Y}_i - \bar{Y}_j + \bar{Y}_{..}$, isto é, nas estimativas de quadrados mínimos ordinários de $(ga)_{ij}$; 2ª) a interação (parte multiplicativa do modelo) é ajustada seguindo um DVS ou ACP aplicada à matriz $GE_{gxa} = \{(\hat{g}\hat{a})_{ij}\}$, resultando a porção denominada de “padrão” (sendo a interação AMMI), e a outra parte intitulada como “ruído”, que deve ser descartada no somatório ao resíduo ANOVA.

Como critério para determinar quantos eixos principais são suficientes para explicar e representar graficamente o padrão da interação, adotou-se os considerados por Gauch e Zobel (1988), onde se considera a proporção da soma de quadrados da interação original (SQ_{GXA}) acumulada até o n -ésimo eixo: $\sum_{k=1}^n \lambda_k^2 / SQ_{GXA}$.

2.2. GGE Biplot

A análise pelo método GGE Biplot, conforme apresentada por Yan et al. (2000) considera o efeito principal da combinação enxerto/porta-enxerto e de sua interação com os anos, sendo estes importantes e considerados juntos, essa junção é realizada no formato de dois termos multiplicativos, que é representada pela equação: $Y_{ij} - \bar{Y}_j = y_1 \epsilon_{i1} p_{j1} + y_2 \epsilon_{i2} p_{j2} + \epsilon_{ij}$ onde Y_{ij} simboliza o desempenho médio da i -ésima combinação enxerto/porta-enxerto no j -ésimo ano; \bar{Y}_j simboliza a média geral das combinações enxerto/porta-enxerto para o ano j ; $y_1 \epsilon_{i1} p_{j1}$ exprime o primeiro componente principal (IPCA1); $y_2 \epsilon_{i2} p_{j2}$ exprime o segundo componente principal (IPCA2); y_1 e y_2 são associados aos autovalores relativos ao IPCA e IPCA2, respectivamente; ϵ_{i1} e ϵ_{i2} simbolizam os escores do primeiro e segundo componente principal, respectivamente, da i -ésima combinação enxerto/porta-enxerto; p_{j1} e p_{j2} retratam os escores do primeiro e segundo componente principal, respectivamente, para o j -ésimo ano; ϵ_{ij} refere-se ao erro do modelo associado com a i -ésima combinação enxerto/porta-enxerto no j -ésimo ano (YAN; KANG, 2003).

Suplementarmente foi calculada a relação de informação (RI) proposta por Yan e Tinker (2006) para examinar se a adoção do biplot é adequado para exibir os padrões de uma tabela de dupla entrada. A interpretação se baseia em cada eixo PC (eixo da interação da análise de componentes principais), onde $RI \geq 1$ ou próximo de 1, contém padrões que devem ser considerados na análise, e um PC onde o $RI < 1$ tem-se ausência de qualquer padrão ou informação. Com isso um biplot com dimensão 2 somente possui poder de representar de forma adequada os padrões nos dados, se pelo menos o primeiro eixo dos primeiros PCs apresentar $RI \geq 1$ ou próximo de 1.

Todo o tratamento estatístico dos dados, incluindo-se análises de variância e a análise de estabilidade e adaptabilidade via modelo AMMI e GGE Biplot, foi efetuada empregando-se os procedimentos do programa R versão 3.4.1 (R CORE TEAM, 2020).

3. Resultados e Discussão

O resumo da análise de variância é apresentado na Tabela 2 para as características produção de frutos (PF), diâmetro do caule acima da cicatriz de enxertia (DAC) e diâmetro do caule abaixo da cicatriz de enxertia (DDC), sendo que há efeitos significativos de anos (A), tratamentos (G) e da interação GxA, indicativo de que existem combinações enxerto/porta-enxertos com desempenho melhor em relação aos demais do conjunto de materiais avaliados. A presença da interação GxA permite que seja realizada a análise gráfica AMMI e também do GGE Biplot.



Tabela 2 – Resumo da análise de variância em combinações de limeira ácida ‘Tahiti’ e diferentes porta-enxertos para precocidade, sendo A: anos; R(A): repetições dentro de anos; G: genótipos; GxA: interação genótipos x anos. Fazenda Lima, PA.

	GL	PF	GL	DAC	DDC
A	3	78006**	2	4201590**	4806094**
R(A)	12	1752**	9	5944**	1005 ^{ns}
G	3	4130**	3	9979**	5328**
GxA	9	2813**	6	9810**	4720**
Resíduo	603		451		
CV		63,766		34,020	26,412
Média		25,856		99,315	105,711

PF: peso dos frutos; DAM: diâmetro acima da cicatriz de enxertia; DDC: diâmetro abaixo da cicatriz de enxertia.

Os coeficientes de variação experimental presentes na Tabela 2, segundo a classificação de Gomes (1990), se enquadram dentro dos valores considerados como normais, inclusive para PF, que muito foi alto. A escala existente em Gomes (1990) considera os coeficientes de variação baixos quando abaixo de 10%, médios quando estão entre 10 e 20%, altos entre 20 e 30% e muito altos acima de 30%, porém torna-se importante citar que esta classificação é uma realidade para espécies vegetais anuais e não para perenes e nem, portanto, para as frutíferas, onde se insere o limoeiro.

Ressalta-se que uma classificação de CV apropriada para plantas perenes, como os limoeiros, deve considerar as características intrínsecas da espécie, o que se está avaliando, o quantitativo de repetições, o tipo de delineamento experimental, entre outros aspectos importantes. Desta forma a existência de variabilidade no tamanho e produção de frutos e real e aceitável, tanto dentro da mesma planta como entre diferentes indivíduos, causando amplas variações nas medições (SILVA et al., 2011). Sabe-se que o componente de produtividade (PF) é uma característica de controle genético quantitativo, com desempenho fenotípico altamente influenciado por fatores ambientais e possuindo controle envolvendo vários complexos gênicos (MAIA et al., 2010; CRUZ, 2012).

O resumo da análise de componentes principais é apresentado na Tabela 3, onde nota-se que o somatório dos dois primeiros eixos (PC1 e PC2) conseguiu quase chegar a totalidade de 100% em todas as características. Este acumulado nos dois primeiros eixos componentes está acima do necessário, portanto sendo suficiente para capturar e explicar o comportamento de variação dos tratamentos envolvidos, pois conforme Yang et al. (2009) a soma deve totalizar um mínimo de 60% da variância total. Significância foi obtida pelo teste $F_{G\text{ollob}}$ apenas nos primeiros eixos, assegurando a suposição de que a análise AMMI com dois eixos conseguiu realmente englobar todas as variações produzidas em decorrência dos efeitos genéticos, ambientais e de interação genótipo x ambiente, descartando os efeitos dos ruídos ou efeitos estocásticos, que somente distorcem e atrapalham a interpretação das análises (MAIA et al., 2019) e aqui sendo superior ao observado por Carvalho et al. (2020).

Tabela 3 – Porcentagem, porcentagem acumulada, QM dos quatro primeiros eixos componentes para combinações de limeira ácida ‘Tahiti’ e diferentes porta-enxertos para precocidade. Fazenda Lima, PA.

		Porc	PorcAcum	QM
PF	PC1	91,7	91,7	469,384**
	PC2	8,2	99,8	69,827 ^{ns}
	PC3	0,2	100,0	4,109 ^{ns}
DAC	PC1	100,0	100,0	1478,663**
	PC2	0,0	100,0	1,0446 ^{ns}
DDC	PC1	99,9	99,9	713,220**
	PC2	0,1	100,00	0,914 ^{ns}

PF: peso dos frutos; DAM: diâmetro acima da cicatriz de enxertia; DDC: diâmetro abaixo da cicatriz de enxertia.

Na análise AMMI1 para produção de frutos (PF) em relação ao aspecto de estabilidade, não se observa a presença de nenhum tratamento que possua esta característica. Mas ao se considerar apenas as contribuições positivas para as variações na característica tem-se como destaques as diferentes combinações enxerto/porta-enxertos cuja identificação foi B8 e B10. Adicionando-se o segundo eixo componente principal gerando o modelo AMMI2 tem-se a confirmação do comportamento obtido com o uso de apenas um eixo, comprovando que os efeitos principais foram devidamente capturados neste (Figuras 1A e 1B).

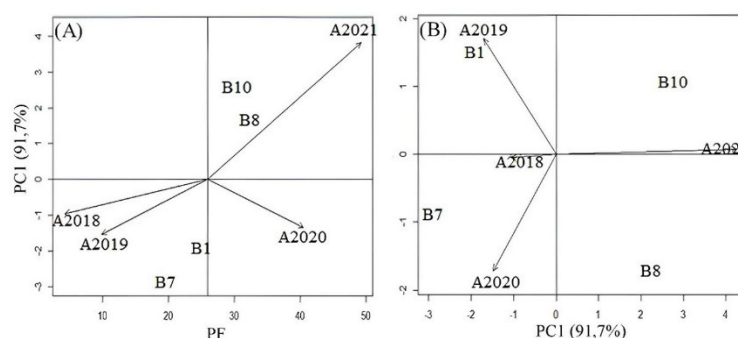


Figura 1 – Análise AMMI para a característica peso de frutos planta (PF), sendo: (A) Biplot AMMI1, Médias (x) vs PC1 (y) e; (B) Biplot AMMI2, PC1 (x) vs PC2 (y), com os ambientes correspondentes a anos para combinações enxerto/porta-enxerto em limeira ácida ‘Tahiti’. Anos identificados numericamente e combinações identificadas como T seguido de número.

Para o diâmetro do caule acima da enxertia (DAC) tem-se que o tratamento B10 é que apresenta maior estabilidade no modelo AMMI1, sendo que B7 contribui positivamente para a média, contudo não tem estabilidade e, B10 localizou-se na neutralidade de contribuição. Adicionando-se o segundo eixo componente (PC2) observa-se que somente B10 manteve novamente a estabilidade (Figuras 2A e 2B), com isso há confirmação, ou seja, os dois primeiros eixos componentes conseguiram capturar os efeitos responsáveis pelo comportamento, desta forma os efeitos principais foram devidamente capturados em PC1 (Figuras 2A e 2B). Sem presença de estabilidade, mas com contribuição positiva tem-se o tratamento B8 também.

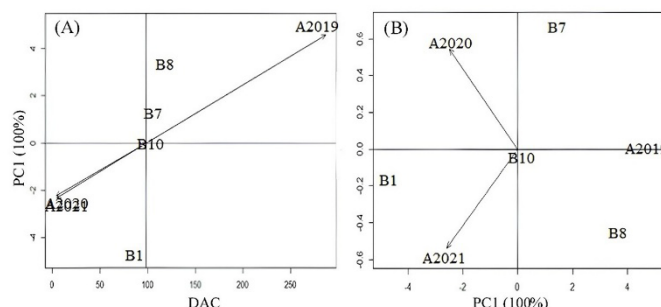


Figura 2 – Análise AMMI para a característica diâmetro do caule acima da enxertia (DAC), sendo: A) Biplot AMMI1, Médias (x) vs PC1 (y) e; B) Biplot AMMI2, PC1 (x) vs PC2 (y), com os ambientes correspondentes a anos para combinações enxerto/porta-enxerto em limeira ácida ‘Tahiti’. Anos identificados numericamente e combinações identificadas como T seguido de número.

Para o diâmetro do caule abaixo da enxertia (DDC) somente o tratamento B10 apresenta estabilidade no modelo AMMI1, porém não apresenta contribuição para as variações da média. Adicionando-se o segundo eixo componente (PC2) tem-se agora que B10 não apresenta mais estabilidade, apesar de estar num nível superior as demais combinações enxerto/porta-enxerto (Figuras 3A e 3B), e apresentando uma relativa especificidade ao ano 2021. Sem presença de estabilidade, mas com contribuições positivas tem-se os tratamentos B7 e B8 também.

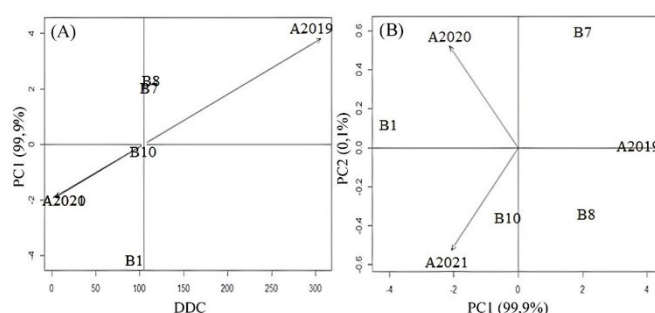


Figura 3 – Análise AMMI para a característica diâmetro do caule abaixo da enxertia (DDC), sendo: A) Biplot AMMI1, Médias (x) vs PC1 (y) e; B) Biplot AMMI2, PC1 (x) vs PC2 (y), com os ambientes correspondentes a anos para combinações enxerto/porta-enxerto em limeira ácida ‘Tahiti’. Anos identificados numericamente e combinações identificadas como T seguido de número.

Partindo-se para a análise gráfica GGE Biplot para verificar a representatividade dos eixos componentes (PCs) sobre o comportamento dos tratamentos, deve-se ter segundo Yang et al. (2009) uma variância acumulada de no mínimo de 60% na soma dos dois primeiros eixos, contabilizando um percentual que oferece confiabilidade na veracidade da distribuição do desempenho dos materiais genéticos associado a interação entre anos (G+GxA). Na Tabela 4 tem-se uma soma acumulada acima de 97% nas três



características avaliadas, indicativo de que o modelo com dois eixos é adequado para expressar o desempenho das combinações enxerto/porta-enxertos e da contribuição de anos, subtraindo possíveis efeitos de ruídos ou estocásticos, que produzem distorções que geram vieses na interpretação dos gráficos (MAIA et al., 2019).

Tabela 4 – Autovalores, variância explicada (Ve%), variância explicada acumulada (Va%) e relação de informação (RI), considerando os três primeiros componentes principais (PCs), em limão. Fazenda Lima, precocidade em limeira ácida ‘Tahiti’.

característica	Parâmetros	PC1	PC2	PC3
PF	Autovalor	29,37	7,839	4,933
	Ve %	90,95	6,48	2,57
	Va %	90,95	97,43	100,00
	RI	2,729	0,194	0,077
DAC	Autovalor	47,111	0,948	0,023
	Ve %	99,96	0,04	0,00
	Va %	99,96	100,00	-
	RI	2,999	0,001	-
DDC	Autovalor	33,269	0,955	0,047
	Ve %	99,92	0,08	0,00
	Va %	99,92	100,00	-
	RI	2,998	0,002	-

PF: peso dos frutos; DAC: diâmetro acima da cicatriz de enxertia; DDC: diâmetro abaixo da cicatriz de enxertia.

As estimativas das relações da informação (RI) foram obtidas para o primeiro eixo componente, onde visualizam-se resultados próximos de três nas características, cuja interpretação é de que valores superiores a unidade tem-se um indício do eixo incorporar apenas contribuições de efeitos genéticos e descartando os ambientais. Já para o segundo e terceiros eixos componentes, com valores abaixo da unidade, há presença apenas de ruídos de efeitos não genéticos, podendo ser descartados. Considerando, portanto, estes condicionantes a utilização do biplot de dimensão 2 é suficiente e tem caráter confiável para descrever com precisão o padrão das informações das avaliações, estando em consonância ao estabelecido por Yan e Tinker (2006), permitindo ignorar um eixo componente PC3, que teria apenas ruídos ($R < 1$), que dificultariam e atrapalharia correta interpretação do efeito de interação.

Um ambiente composto por conjunto de condições intrínsecas que seja adequado para reconhecimento e seleção dos melhores materiais genéticos é o que tem maior capacidade discriminativa e/ou também representatividade em relações aos outros ambientes (SANTOS et al., 2017). Sendo, portanto, graficamente os que possuem vetores mais longos, ou seja, são mais discriminativos, por outro lado, os com vetores curtos tem menor poder discriminante, disponibilizando pouca ou nenhuma informação sobre os tratamentos, podendo ser descartados como ambiente teste (YAN, 2016). A representatividade é observada em relação ao menor ângulo com EAM (linha que passa pelo ambiente médio e a origem biplot) e este seria uma média dos demais ambientes.

Na análise gráfica GGE Biplot para capacidade de discriminação e de representatividade dos anos (ambientes) de teste para gerar diferenciações nos tratamentos (enxerto/porta-enxerto) tem-se para PF (Figura 4A) que o ano de 2021 é que possui maior poder discriminante, com vetor mais longo e sendo também o representativo dos demais anos, por possuir ângulo menor em relação aos demais anos.

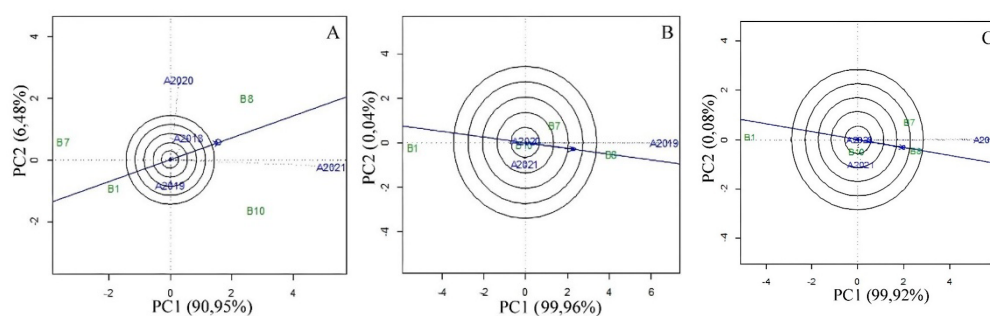


Figura 4 – GGE biplot “discriminação e representatividade” para mostrar a capacidade de discriminação e representatividade dos ambientes de teste em comparação aos materiais genéticos para as características PF, DAC e DDC em enxertos/porta-enxertos de limeira ácida ‘Tahiti’.

Para DAC (Figura 4B) destaca-se com maior contribuição para a diferenciação o ano de 2019, enquanto, possivelmente 2020 seria o de maior representatividade, conseguindo representar o efeito médio de todos os anos. Semelhantemente ocorreu para DDC na Figura 4C. Desta forma estes anos são responsáveis principais pelas diferenciações observadas, enquanto nota-se que as combinações enxerto/porta-enxerto contribuíram em menor intensidade para a diferenciação.

Nas Figuras 5A, 5B e 5C, a linha reta onde está situada uma seta é intitulada de “eixo do ambiente-média” ou “EAM”, onde os tratamentos que excedem a ponta da seta são aqueles com maior contribuição média entre os materiais avaliados, segundo Yan (2002) e Yan (2011). Já a linha perpendicular que une os componentes (combinação enxerto/porta-enxerto ou ano) ao eixo EAM representa a estabilidade, quanto maior a linha em comprimento menor é a estabilidade.

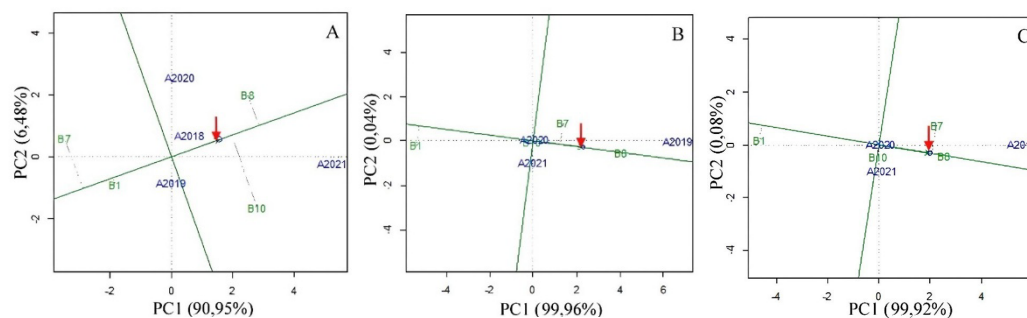


Figura 5 – Desempenho médio e estabilidade dos tratamentos pelo GGE biplot (“Média versus Estabilidade”) com eixo do ambiente-média (EAM) para as características em PF, DAC e DDC em enxertos/porta-enxertos de limeira ácida ‘Tahiti’.

Para a análise de desempenho médio e principalmente estabilidade para PF na Figura 5A o material mais promissor é B8, situado a frente da ponta da seta do eixo EAM e apresentando estabilidade superior a B10 que também contribuiu positivamente, porém está plotado mais distante do eixo e, portanto, possui menor estabilidade.

Para DAC (Figura 5B) o tratamento B8 é o com melhor desempenho médio, associado ao aspecto de apresentar estabilidade ao estar situado exatamente sobre o eixo EAM. Comportamento semelhante é observado para DDC (Figura 5C), mas somando-se o tratamento B7, com certa estabilidade. Como isso tem-se que o tratamento que possibilita melhor desenvolvimento dos caules, tanto acima como abaixo da cicatriz de enxertia foi apenas o tratamento B8.

Uma planta com desempenho excepcional e que apresente alta estabilidade é procurada pelos programas de melhoramento genético, recebendo a denominação de “ideótipo”, ou teoricamente seria aquela “planta perfeita”. Na análise gráfica “Média versus Estabilidade” é adotado um protocolo efetivo para se plotar os materiais com base nos melhores desempenho e estabilidade (YAN; TINKER, 2006; YAN et al., 2007; YAN, 2011) possibilitando identificar aqueles materiais que se assemelham ao ideótipo desejado. O ideótipo no GGE Biplot (Figuras 6A, 6B e 6C) está localizado no ponto central dos círculos concêntricos, e as combinações enxerto/porta-enxerto localizadas nas imediações deste centro ou nos circuncírculos iniciais são os com maior interesse. Ressaltando que esta planta ideal existente em determinado ambiente, deve possuir características morfoagronômicas bem definidas e correlacionadas positivamente com o desempenho produtivo (Trethowan, 2014).

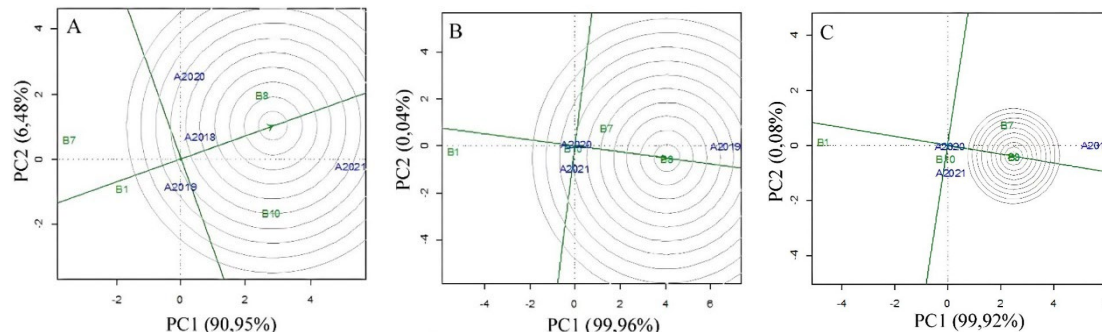


Figura 6 – Classificação dos tratamentos em relação ao ideótipo (no centro dos círculos concêntricos) pelo GGE biplot com eixo do ambiente-média (EAM) para as características em PF, DAC e DDC em enxertos/porta-enxertos de limeira ácida ‘Tahiti’.

Na Figura 6A para PF a combinação enxerto/porta-enxerto B8 é a está mais próxima do centro dos circuncírculos, portanto pode-se considerar como a mais promissora em comparação ao ideótipo, seguido posteriormente por B10. Para DAC e DDC (Figuras 6B e 6C) o comportamento dos tratamentos foram similares e, B8 plotou-se exatamente no centro dos círculos, o que indica que neste grupo de materiais genéticos, nestas condições ambientais e nestas características preencheu de forma singular os requisitos de ideótipo, seguido por B7.

Comparando as metodologias AMMI e GGE Biplot, Camargo-Buitrago et al. (2011) relataram 95,2% de coincidência nos resultados entre as metodologias. Sendo que o modelo GGE biplot é mais indicado para a indicação de cultivares mais adaptadas e estáveis a ambientes específicos (GAUCH et al., 2008; YAN, 2011). Por outro lado, a análise AMMI pode ser utilizada com eficiência na identificação de genótipos de superior desempenho médio (GAUCH et al., 2008; YAN, 2011). Considerando estes aspectos a combinação B8 pode ser considerada como superior, contudo, ressaltando que neste caso tem-se que ignorar os aspectos de estabilidade apresentados na análise gráfica AMMI.

Devido ao fato do cultivo de citros necessitar de uma variedade de porta-enxertos para condições específicas, tem-se uma ampla gama de comportamentos diferenciados para características das plantas, como a qualidade e quantidade de o fruto, o vigor e o tamanho da planta, a tolerância a fatores abióticos e resistência/tolerância a fatores bióticos (MEDINA et al., 2005; SANTANA et al., 2018), isso devido ao efeito da interação GxA proveniente do material genético dos porta-enxertos e os fatores ambientais, onde



os resultados aqui corroboram com este aspecto, ao apresentar a existência de materiais com maior estabilidade, produtividade, permitindo encontrar combinações enxerto/porta-enxertos promissores. Adicionalmente essa dispersão das combinações enxerto/porta-enxerto nos diferentes biplots AMMI e GGE Biplot foi condizente ao obtido nos trabalhos de Carvalho et al., 2020; Huang et al., 2020; Ferrer et al. (2022) e; Singh et al., 2023).

4. Conclusões

Na AMMI B8 e B10 em PF, B8 e B7 em DAC e DDC, realmente tiveram maiores contribuições, contudo pecam pela estabilidade, contudo em GGE Biplot foram considerados os superiores.

O melhor desempenho associando estabilidade em AMMI, no caso a combinação B10, não foi superior em GGE Biplot, pois na verdade pouco contribuiu positivamente para as médias.

5. Referências

- ADEWALE, B. D.; OKONJI, C.; OYEKANMI, A.A.; AKINTOBI, D.A.C.; AREMU, CO.O. Genotypic variability and stability of some grain yield components of Cowpea. *African Journal of Agricultural Research*, v.5, p. 874-880, 2010.
- BARROS, J. R. M.; BARROS, A. L. M.; CYPRIANI, M. P. o mercado da citricultura no Brasil e as suas novas perspectivas. Livro Concecitrus. Citrus BR. 2016.
- CAMARGO-BUITRAGO, I.; INTIRE, E. Q. M.; GORDÓN-MENDOZA, R. Identificación de mega-ambientes para potenciar el uso de genótipos superiores de arroz en Panamá. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 9, p. 1601-1069, 2011
- CARVALHO, H. W. L. de; TEODORO, A. V.; BARROS, I. de; CARVALHO, L. M. de; SOARES FILHO, W. dos S.; GIRARDI, E. A.; PASSOS, O. S.; PINTO-ZEVALLOS, D. M. Rootstock-related improved performance of 'Pera' sweet orange under rainfed conditions of Northeast Brazil. *Scientia Horticulturae*, v. 263, p. 109148, 2020.
- CARVALHO, L. M.; CARVALHO, H. W. L.; SOARES FILHO, W. S.; MARTINS, C. R.; PASSOS, O. S. Porta-enxertos promissores, alternativos ao limoeiro "Cravo", nos Tabuleiros Costeiros de Sergipe. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, v. 51, n. 2, p. 132-141, 2016.
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético (3. ed.). Viçosa: Editora UFV. 2014. 668 p.
- CRUZ, C.D. Princípios de genética quantitativa. Viçosa: UFV, 394p. 2012.
- DIAS, C. T. S.; HONGYU, K.; ARAÚJO, L. B.; SILVA, M. J. C.; GARCIA PEÑA, M.; ARAÚJO, M. F. C.; CANAS RODRIGUES, P.; FARIA, P. N.; ARCINIEGAS ALARCÓN, S. A metodologia AMMI: com aplicação ao melhoramento genético. Piracicaba: ESALQ, 2014. 169 p.
<https://www.esalq.usp.br/biblioteca/sites/default/files/Metodologia%20AMMI.pdf>
- DUARTE, J. B.; VENCOSKY, R. Interação genótipos x ambientes: uma introdução à análise AMMI. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1999.
- FERRER, V.; PAYMAL, N.; QUINTON, C.; COSTATINO, G.; PAOLI, M.; FROELICHER, Y.; OLLITRAULT, P.; TOMI, F.; LURO, F. Influence of the Rootstock and the Ploidy Level of the Scion and the Rootstock on Sweet Orange (*Citrus sinensis*) Peel Essential Oil Yield, Composition and Aromatic Properties. *Agriculture*. v. 12, n. 2, p. 214, 2022.
DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12020214>
- GAUCG, H. G.; ZOBEL, R. W. Predictive and postdictive success of statistical analysis of yield trials. *Theoretical and Applied Genetics*, v. 76, n. 1, p. 1-10, 1988.
- GAUCH, H. G.; PIEPHO, H. P.; ANNICCHIARICO, P. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE: Further considerations. *Crop Science*, v. 48, n. 3, p. 866-889, 2008
- GERALDINI, F.; RIBEIRO, M. C. Lima ácida tahiti: mercado e perspectivas para 2019. *Revista Hortifruti Brasil*. 39p. 2019.
<https://www.hfbrasil.org.br/upload/kceditor/files/Dia%20do%20Lima%CC%83o%20PDF.pdf>
- GOMES, F. P. Curso de estatística experimental. 12.ed. São Paulo: Nobel, 1990. 467p.
- HUANG, L.; GROSSER, J.; GMITTER, F. G.; SIM, C. A.; WANG, Y. Effects of Scion/Rootstock Combination on Flavor Quality of Orange Juice from Huanglongbing (HLB)-Affected Trees: A Two-Year Study of the Targeted Metabolomics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. v. 68, n. 10, p. 3286-3296, 2020.
- KLIMEK-SZCZYKUTOWICZ, M.; SZOPA, A.; EKIERT, H. Fenômeno do Citrus limon (Lemon) - uma revisão da química, propriedades farmacológicas, aplicações nas indústrias farmacêuticas, alimentícias e cosméticas modernas e estudos biotecnológicos. *Plantas*, v. 9, n. 1, p. 119, 2020.
- LOPES, J. M. S.; DÉO, T. F. G.; ANDRADE, B. J. M.; GIROTO, M.; FELIPE, A. L. S.; JUNIOR, C. E. I.; BUENO, C. E. M. S.; SILVA, T. F.; LIMA, F. C. C. Importância econômica do citros no Brasil. *Revista Científica Eletrônica de Agronomia*, Garça, Ano X, n. 20, p. 1-3 2011.
- 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. Principal component and biplot analysis in the agro-industrial characteristics of *Anacardium* spp. *European Scientific Journal*, v. 15, p. 21-31, 2019.
- MAIA, M. C. C.; OLIVEIRA, L. C. de; ALVARES, V. de S.; MACIEL, V. T.; LESSA, L. S.; RONCATTO, G. Caracterização agroindustrial de clones experimentais de cupuaçuzeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 21., 2010, Natal. Frutas: saúde,



- inovação e responsabilidade. Anais. Natal: SBF, 2010. 4 p.
- MALOSETTI, M.; RIBAUT, J.-M.; EEUWIJK, F. A. van. The statistical analysis of multi-environment data: modeling genotype-by-environment interaction and its genetic basis. *Frontiers in Physiology*, v. 4, article 44, 2013.
- MEDINA, C. L.; RENA, A. B.; SIQUEIRA, D. L.; MACHADO, E. C. Fisiologia dos citros. In: MATTOS JUNIOR, D.; DE NEGRI, J. D.; PIO, R. M.; POMPEU JUNIOR, J. Citros. Campinas: Instituto Agrônômico; Fundag, 2005. cap.7, p. 148-195.
- MUTHONI, J.; SHIMELIS, H.; MELIS, R. Genotype x Environment interaction and stability of potato tuber yield and bacterial wilt resistance in Kenya. *American Journal of Potato Research*, v. 92, p. 367-378, 2015.
- NEVES, M. F.; TROMBINI, V. G. Anuário da citricultura 2017. Citrus BR: Ribeirão Preto. 57p., 2017.
- R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2020. <http://www.R-project.org/>.
- RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B.; NUNES, J. A. R. Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas. Lavras: UFLA, 2012. 522 p.
- ROSSI, P. L.; PANDOLFI, M. A. C. Análise de mercado da lima ácida Thaiti. *Revista Interface Tecnológica*, v. 16, n. 2, p. 255-263, 2019.
- SANTANA, L. G. L.; SOUZA, E. dos S.; PASSOS, O. S.; GESTEIRA, A. da S.; LEDO, C. A. da S.; SOARES FILHO, W. dos S. Vigor and mortality of citrus progênies with potential use as rootstocks. *Scientia Agrícola*, v. 75, n. 4, p. 339-345, 2018.
- SANTOS, H. P., ALVARES, R. C., SILVA, F. C., FARIA, L. C., LEONARDO, C. M. Genetic, environmental and genotype x environment interaction effects on the common bean grain yield and commercial quality. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 38, n. 3, p. 1241-1250, 2017.
- SCHWARTZ, G. Manejo sustentável de florestas secundárias: espécies potenciais no nordeste do Pará, Brasil. *Amazônia: Ciência & Desenvolvimento*, v. 3, n. 5, p. 125-147, 2007.
- SILVA, A. R.; CECON, P. R.; RÊGO, E. R.; NASCIMENTO, M. Avaliação do coeficiente de variação experimental para caracteres de frutos de pimenteiras. *Revista Ceres*, v. 58, n. 2, p. 168-171, 2011.
- SINGH, N.; SHARMA, R. M.; DUBEY, A. K.; AWASHI, O. P.; SUPRADIP S.; BHARADWAJ, C.; SHARMA, V. K.; SEVANTHI, A. M.; KUMAR, A.; DEEPAK Citrus improvement for enhanced mineral nutrients in fruit juice through interspecific hybridization. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 119, p. 105259, 2023.
- SIQUEIRA, D. L.; SALOMÃO, L. C. C. Citros do plantio à colheita. Viçosa (MG): Ed. UFV, 2017.
- TRETHOWAN, R. M. Defining a genetic ideotype for crop improvement. In: Fleury D., Whitford R. (eds) *Crop Breeding. Methods in Molecular Biology (Methods and Protocols)*, vol 1145. New York: Humana Press, 2014.
- YAN, W. GGE Biplot vs. AMMI Graphs for Genotype-by-Environment Data Analysis. *Journal of the India Society of Agricultural Statistics*, v.65, n.2, p.181-193, 2011
- YAN, W. Analysis and handling of $G \times E$ in a practical breeding program. *Crop Science*, v. 56, n. 5, p. 2106-2118, 2016.
- YAN, W. GGE biplot a windows application for graphical analysis of multienvironment trial data and other types of two-way data. *Agronomy Journal*, v. 93, p. 1111-1118, 2001.
- YAN, W. Singular-value partitioning in biplot analysis of multienvironment trial data. *Agronomy Journal*, Madison, v. 94, n. 5, p. 990-996, 2002.
- YAN, W.; HOLLAND, J. B. A heritability-adjusted GGE biplot for test environment evaluation. *Euphytica*, v. 171, p. 355-369, 2010.
- YAN, W.; HUNT, L. A.; SHENG, Q.; SZLAVNICS, Z. Cultivar evaluation and Mega-environment investigation based on GGE biplot. *Crop Science*. v. 40, n. 3, p. 597-605, 2000. doi:10.2135/cropsci2000.403597x
- YAN, W.; KANG, M.S. GGE biplot analysis: a graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. CRC press, 2003.
- YAN, W.; KANG, M. S.; MA, B.; WOODS, S.; CORNELIUS, P. L. GGE Biplots vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Science*, v. 47, p. 643-655, 2007.
- YAN, W.; TINKER, A. Biplot analysis of multi environment trial data: principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science*, v.86, n.3, p.623-645, 2006.
- YANG, R. C.; CROSSA, J.; CORNELIUS, P. L.; BURGUEÑO, J. Biplot analysis of genotype x environment interaction: Proceed with caution. *Crop Science*, v. 49, p. 1564-1576, 2009.