



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO FITOTECNIA
DOUTORADO EM FITOTECNIA

José Galdino Cavalcante Neto

INTERAÇÃO GENÓTIPOS POR AMBIENTES EM MELOEIRO: Adaptabilidade e
Estabilidade Genotípica e Influência de Variáveis

MOSSORÓ
2020

JOSÉ GALDINO CAVALCANTE NETO

INTERAÇÃO GENÓTIPOS POR AMBIENTES EM MELOEIRO: Adaptabilidade e
Estabilidade genotípica e Influência de variáveis

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em FITOTECNIA da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Doutor em FITOTECNIA.

Linha de Pesquisa: Melhoramento Genético

Orientador: Prof. Dr. Glauber Henrique de Sousa Nunes.

MOSSORÓ

2020

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

C376i Cavalcante Neto, José Galdino.
INTERAÇÃO GENÓTIPO POR AMBIENTES EM MELOEIRO:
Adaptabilidade e estabilidade Genotípica e
Influência de Variáveis / José Galdino Cavalcante
Neto. - 2020.
63f. : il.

Orientador: Glauber Henrique de Sousa Nunes.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural do
Semi-árido, Programa de Pós-Graduação em
Fitotecnia, 2020.

1. *Cucumis melo* L. 2. Interação genótipos x
ambientes. 3. Modelos Mistos. 4. REML/BLUP. 5.
Análise multivariada. I. Nunes, Glauber Henrique
de Sousa, Orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

JOSÉ GALDINO CAVALCANTE NETO

INTERAÇÃO GENÓTIPOS POR AMBIENTES EM MELOEIRO: Adaptabilidade e Estabilidade genotípica e Influência de covariáveis

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em FITOTECNIA da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Doutor em FITOTECNIA.
Linha de Pesquisa: Melhoramento Genético

Defendida em: 30/06/2020.

BANCA EXAMINADORA

Glauber Henrique de Sousa Nunes

Glauber Henrique de Sousa Nunes, Prof. Dr. Sc. (UFERSA)
Presidente

Elisângela Cabral dos Santos

Elisângela Cabral dos Santos, Profa. Dra. (UFERSA)
Membro Examinador

Stefeson B.M.

Stefeson Bezerra de Melo, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Anânkia de Oliveira Ricarte Marinho

Anânkia de Oliveira Ricarte, Dra.
Membro Examinador

Valdívia de Fátima Lima de Sousa

Valdívia de Fátima Lima de Sousa, Dra. (Agricultora Famosa)
Membro Examinador

[Assinatura]

Fernando Antonio Souza de Aragão, Pesquisador Dr. (EMBRAPA)
Membro Examinador

À Minha Família.

DEDICO.

À Lena, minha companheira, aos meus filhos João Vitor e Samuel pelo apoio, incentivo e principalmente paciência.

OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por todas as bênçãos alcançadas;

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), por possibilitar a realização do meu Doutorado;

À Sakata Seed Sudamérica Ltda, por proporcionar mais uma qualificação profissional;

Ao meu orientador Glauber Henrique de Sousa Nunes, onde aqui atribuo todo o mérito desse trabalho;

Aos amigos de trabalho que contribuíram e contribuem para o desempenho de excelência em nossas atividades de rotina, meu muito obrigado.

CAVALCANTE NETO, José Galdino. **Interação genótipos por ambientes em meloeiro: Adaptabilidade e Estabilidade genotípica e Influência de variáveis.** 2020. 63f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-árido, Mossoró-RN, 2019.

RESUMO

Os objetivos do presente trabalho foram estudar a interação genótipo por ambientes, identificar cultivares adaptadas e estáveis, bem como quantificar a influência de covariáveis ambientais sobre a interação. Foram avaliados 13 híbridos de melão amarelo em quatro municípios do Estado do Rio Grande do Norte, em duas épocas de semeadura, num total de oito ambientes. Os experimentos foram realizados em blocos completos casualizados com três repetições. Cada parcela foi constituída por duas linhas de 5,0 m de comprimento, espaçadas por 2,0 m. O espaçamento entre covas foi 0,4 m, sendo cultivada uma planta por cova. Os caracteres avaliados foram número de frutos por planta e sólidos solúveis totais. Foram utilizados os seguintes métodos de adaptabilidade e estabilidade: Wricke (1965), Eberhart e Russell (1966), Lin e Binns (1988), Annicchiarico (1992), GGE Biplot (Yan; Kang, 2003) e MHPRVG (Resende, 2007). As covariáveis ambientais estudadas foram temperatura máxima e mínima, umidade relativa e radiação. Foram utilizadas as metodologias de regressão fatorial e análise de componentes principais com os valores preditos dos efeitos da interação genótipos x ambientes para quantificar o papel de quatro covariáveis ambientais sobre a interação genótipos por ambiente. A interação genótipos por ambientes para número de frutos por planta e sólidos solúveis é do tipo simples e cruzado, respectivamente. Os métodos de Linn e Binns (1988), Annicchiarico (1992) e Resende (2007) são altamente correlacionados entre si e todos correlacionados com a média do caráter. Os híbridos diferem quanto à sensibilidade frente às covariáveis ambientais, sendo divididos em um grupo que tem influência positiva da temperatura máxima e umidade relativa e influência negativa da temperatura mínima e radiação solar; e outro com comportamento oposto tanto para o número de frutos por planta e sólidos solúveis. O híbrido HA-08 se mostrou o mais promissor com elevado número de frutos por planta, alto teor de sólidos solúveis, adaptabilidade e estabilidade elevadas.

Palavras-Chave: *Cucumis melo* L., interação genótipos x ambientes, modelos mistos, REML/BLUP, análise multivariada, regressão fatorial.

CAVALCANTE NETO, José Galdino. **Genotype interaction by environments in melon: genotypic adaptability and stability and Influence of covariates**. 2020. 63f. Thesis (Crop Science Ph. D.) – Federal Rural University of the Semi-Arid, Mossoró-RN, 2020.

ABSTRACT

The objectives of this work were to study the genotype interaction by environments and to identify cultivars with greater adaptability and phenotypic stability by different methods and to identify adapted and stable genotypes where the environmental covariates for maximum and minimum temperature, relative humidity and radiation. Thirteen yellow melon hybrids were evaluated in four municipalities in the State of Rio Grande do Norte, in two sowing dates, in a total of eight environments. The experiments were carried out in complete randomized blocks with three replications. Each plot consisted of two lines of 5.0 m in length, spaced by 2.0 m. The spacing between plants was 0.4 m, with one plant per hole being cultivated. The evaluated characters were number of fruits per plant and total soluble solids. The following adaptability and stability methods were used: Wricke (1965), Eberhart and Russell (1966), Lin and Binns (1988), Annicchiarico (1992), GGE Biplot (Yan; Kang, 2003) and MHPRVG (Resende, 2007). Likewise, the MHPRVG was used to identify adapted and stable genotypes where the studied environmental covariates were maximum and minimum temperature, relative humidity and radiation. Thus, for the same characteristics, factor regression methodologies and main component analysis were used with the predicted values of the effects of the genotype x environment interaction to quantify the role of four environmental covariates on the genotype by environment interaction. The genotype by environment interaction for number of fruits per plant and soluble solids is simple and crossed, respectively. The methods of Linn and Binns (1988), Annichiarico (1992) and Resende (2007) are highly correlated with each other and all correlated with the character mean. The hybrids differ in sensitivity to environmental covariates, being divided into a group that has a positive influence of maximum temperature and relative humidity and a negative influence of minimum temperature and solar radiation; and another with the opposite behavior for both the number of fruits per plant and soluble solids. The HA-08 hybrid proved to be the most promising with a high number of fruits per plant, high content of soluble solids, high adaptability and stability.

Keywords: *Cucumis melo* L., genotype by environment interaction, mixed models, REML/BLU, multivariate analysis, factorial regression.

LISTA DE TABELASS

Tabela 1 -	Identificação, coordenadas geográficas, altitude, tipo de solo e dados climáticos dos ambientes de avaliação de híbridos de melão no Polo Agrícola Mossoró-Assu, RN.....	20
Tabela 2 -	Resumo da análise de variância, coeficiente de variação e acurácia seletiva do número de frutos por planta e sólidos solúveis medidos em híbridos de melão amarelo avaliados em quatro municípios do Agropolo Mossoró-Assu em duas épocas de semeadura da estação “seca”. Mossoró-RN, 2020.....	24
Tabela 3 -	Estimativas de parâmetros de adaptabilidade e estabilidade obtidas por cinco metodologias considerando efeito de genótipos fixos para o número de frutos por planta em híbridos de melão amarelo avaliados em quatro municípios do Agropolo Mossoró-Assu em duas épocas de semeadura da estação “seca”. Mossoró-RN, 2020.....	25
Tabela 4 -	Estimativas de parâmetros de adaptabilidade e estabilidade obtidas por cinco metodologias considerando efeito de genótipos fixos para sólidos solúveis em híbridos de melão amarelo avaliados em quatro municípios do Agropolo Mossoró-Assu em duas épocas de semeadura da estação “seca”. Mossoró-RN, 2018.....	26
Tabela 5 -	Identificação, coordenadas geográficas, altitude, tipo de solo e dados climáticos dos ambientes de avaliação de híbridos de melão no Polo Agrícola Mossoró- Assu, RN.....	44
Tabela 6 -	Análise de Deviance, estimativas de componentes de variância e parâmetros genéticos e fenotípicos para o número de frutos por planta e sólidos solúveis em híbridos de melão amarelo em oito ambientes do Agropolo Mossoró-Assu. Mossoró-RN, UFERSA, 2020.....	46
Tabela 7 -	Contribuição de covariáveis ambientais para a interação genótipos por ambiente para o número de frutos por planta e sólidos solúveis avaliadas em híbridos de melão amarelo em oito ambientes do Agropolo Mossoró-Assu. Mossoró-RN, UFERSA, 2020.....	46

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 Gráfico GGE biplot “Which-Won-Where” para o número de frutos por planta e sólidos solúveis avaliados em híbridos de melão amarelo cultivados em avaliados em quatro municípios do Agropolo Mossoró-Assu em duas épocas de semeadura da estação “seca”. Mossoró-RN, 2020.....28
- Figura 2 Gráfico GGE biplot de Média e instabilidade para o número de frutos por planta e sólidos solúveis avaliados em híbridos de melão amarelo cultivados em avaliados em quatro municípios do Agropolo Mossoró-Assu em duas épocas de semeadura da estação “seca”. Mossoró-RN, 2020.....30
- Figura 3 Gráfico GGE biplot de Média e instabilidade para o número de frutos por planta e sólidos solúveis avaliados em híbridos de melão amarelo cultivados em avaliados em quatro municípios do Agropolo Mossoró-Assu em duas épocas de semeadura da estação “seca”. Mossoró-RN, 2020.....32
- Figura 4 Correlações entre parâmetros de adaptabilidade e estabilidade estimados por seis métodos para número de frutos por planta avaliado em híbridos de melão amarelo cultivados em quatro municípios do Agropolo Mossoró-Assu em duas épocas de semeadura da estação “seca”. Mossoró-RN, 2020.....33
- Figura 5 Correlações entre parâmetros de adaptabilidade e estabilidade estimados por seis métodos para sólidos solúveis avaliado em híbridos de melão amarelo cultivados em quatro municípios do Agropolo Mossoró-Assu em duas épocas de semeadura da estação “seca”. Mossoró-RN, 2020.....34
- Figura 6 Heatmap com as estimativas do coeficiente de regressão linear de híbridos de melão amarelo obtidas em regressão fatorial da interação genótipos por ambientes para o número de frutos por planta (A) e sólidos solúveis (B) em função de covariáveis ambientais medidas em oito ambientes do Agropolo Mossoró-Assu. Mossoró-RN, UFERSA, 2020. TMAX: temperatura máxima (°C); TMIN: temperatura mínima (°C), UR: umidade relativa (%); RAD: radiação solar (KJ/m²).....48
- Figura 7 Contribuição dos componentes principais para a variação total na interação genótipos por ambiente para o número de frutos por planta (A) e sólidos solúveis (B) avaliadas em híbridos de melão amarelo em oito ambientes do Agropolo Mossoró-Assu. Mossoró-RN, UFERSA, 2020.....49
- Figura 8 Contribuição dos componentes principais para a variação total na interação genótipos por ambiente para o número de frutos por planta (A, B) e sólidos solúveis (C,D) em híbridos de melão amarelo em oito ambientes do Agropolo Mossoró-Assu. Mossoró-RN, UFERSA, 2020. TMAX: temperatura máxima (°C); TMIN: temperatura mínima (°C), UR: umidade relativa (%); RAD: radiação solar (KJ/m²).....50

- Figura 9 Contribuição dos componentes principais para a variação total na interação genótipos por ambiente para o número de frutos por planta (A) e sólidos solúveis (B) avaliados em híbridos de melão amarelo em oito ambientes do Agropolo Mossoró-Assu. Mossoró-RN, UFERSA, 2020. TMAX: temperatura máxima (°C); TMIN: temperatura mínima (°C), UR: umidade relativa (%); RAD: radiação solar (KJ/m²).....52
- Figura 10 Distribuição dos valores MHPRVG do número de frutos por planta e sólidos solúveis avaliados em híbridos de melão amarelo em oito ambientes do Agropolo Mossoró-Assu. Mossoró-RN, UFERSA, 2020.....56

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	13
	REFERÊNCIAS	15
	CAPÍTULO 1: Adaptabilidade e estabilidade de híbridos de melão amarelo em locais e épocas de cultivo	17
	ABSTRAT	17
1	INTRODUÇÃO	18
2	MATERIAIS E MÉTODOS	19
2.1	Genótipos.....	19
2.2	Ambientes	19
2.3	Condução experimental.....	20
2.4	Caracteres avaliados.....	21
2.5	Análises estatísticas	21
3	RESULTADOS	23
4	DISCUSSÃO	34
5	CONCLUSÕES	37
	REFERÊNCIAS	38
	CAPÍTULO 2: Influência de ambientais sobre a interação genótipos por ambientes em meloeiro no semiárido	41
	ABSTRAT	41
1	INTRODUÇÃO	42
2	MATERIAIS E MÉTODOS	43
2.1	Genótipos.....	43
2.2	Ambientes.....	43
2.3	Condução experimental.....	44
2.4	Caracteres avaliados.....	44
2.5	Análises estatísticas.....	45
3	RESULTADOS	45
4	DISCUSSÃO	53
5	CONCLUSÕES	56

REFERÊNCIAS	57
ANEXOS A	60
ANEXOS B	61

1. INTRODUÇÃO GERAL

A cultura do melão tem expressão econômica relevante no semiárido do nordeste brasileiro. A produção para de frutos para a exportação está concentrada nos estados do Rio Grande do Norte e Ceará. As condições de cultivo do meloeiro são diferentes, tanto no que se refere a fatores climáticos, como temperatura e precipitação, em diferentes anos, como às condições edáficas e, principalmente, de manejo da cultura. Em razão disso, espera-se a presença da interação genótipos por ambientes e que mesma tem influência na manifestação fenotípica, fato comum relatado por vários autores em ensaios de avaliação de genótipos de meloeiro (NUNES et al., 2006; SILVA et al., 2011; NUNES et al., 2011a,b; ARAGÃO et al., 2015; GUIMARÃES et al., 2016).

A interação genótipos por ambientes (G x A) é definida como o comportamento diferencial dos genótipos em diferentes ambientes. Isto significa que não há independência entre os efeitos genético e ambiental uma vez que o fenótipo dos genótipos varia em função dos ambientes de avaliação (REZENDE et al., 2007). A interação G x A é uma das principais dificuldades no trabalho do melhorista nas fases iniciais de seleção nas quais as avaliações são realizadas em apenas um local. Nessa situação, as estimativas de componentes de variância são superestimadas, resultando em ganhos genéticos esperados com a seleção superiores aos valores reais. Esse fato ocorre devido a redução da correlação genética entre os ambientes ocasionadas pela ocorrência da interação G x A (NUNES et al., 2011a).

A interação genótipos x ambientes está associada a dois fatores: o primeiro, denominado de parte simples ou quantitativa, é proporcionado pela diferença de variabilidade entre os genótipos (REZENDE, 2002). Nesse caso, a classificação dos genótipos não se altera nos ambientes contemplados no estudo. A interação simples corresponde às mudanças nas magnitudes das diferenças entre os genótipos. O segundo fator é denominado de parte complexa ou qualitativa, e é responsável pela falta ou pela reduzida correlação genética entre os comportamentos dos genótipos nos ambientes. Normalmente, quando a correlação genética é baixa, ocorre uma mudança na classificação dos genótipos, ou seja, há genótipos que apresentam desempenho superior em alguns ambientes, mas não em outros (CRUZ; CASTOLDI, 1991).

Uma das alternativas mais empregadas na minimização da interação genótipos x ambientes é a identificação de cultivares com maior estabilidade fenotípica. Existem

diversos conceitos para os termos estabilidade e adaptabilidade utilizados nos mais diferentes sentidos (LEÓN; BECKER, 1988). A estabilidade é definida por Lewis (1954) como a capacidade de um indivíduo ou de uma população de produzir baixas variações fenotípicas em diferentes ambientes. A adaptabilidade é caracterizada como a resposta do genótipo aos estímulos ambientais, ocorrendo de forma vantajosa (CRUZ; REGAZZI, 1997). Os estudos de estabilidade e adaptabilidade são, portanto, procedimentos estatísticos que permitem a identificação de cultivares de comportamento mais estável e que respondem previsivelmente às variações ambientais (SILVA et al., 2019).

Alguns métodos têm sido propostos para avaliar a adaptabilidade e estabilidade produtiva quando ocorre a interação $G \times A$, sendo exemplos as metodologias de Wricke (1965), Eberhart e Russell (1966), de Lin e Binns (1988), Annichiarico (1992). Apesar de os métodos univariados serem matematicamente mais simples e de mais fácil interpretação, muitos autores têm empregado técnicas multivariadas recentes que explicam adequadamente os efeitos principais (genótipo e ambiente) e a sua interação, podendo-se destacar as análises AMMI, SREG com representação gráfica conhecida como GGE Biplot (YAN; KANG, 2003; OLIVOTO et al., 2019).

Nos últimos anos, tem sido ampliada a aplicação dos modelos mistos em vários temas do melhoramento vegetal de culturas anuais, inclusive interação genótipos por ambientes. A análise realizada por meio da metodologia de modelos mistos utiliza o procedimento REML/BLUP, REML (Restricted Maximum Likelihood) ou máxima verossimilhança restrita para estimar componentes de variância necessários ao modelo, e fazer previsões BLUP (Best Linear Unbiased Prediction), melhor preditor linear não viciado, para obter o valor genotípico (RESENDE, 2007). Métodos de estudos de adaptabilidade e estabilidade com base em modelos mistos (REML/BLUP – Restricted Maximum Likelihood/Best Linear Unbiased Prediction) têm aumentado nos anos recentes. No contexto de modelos mistos, uma alternativa é método da Média Harmônica da Performance Relativa dos valores Genotípicos (MHPRVG), preconizado por Resende (2004). O referido método tem sido empregado recentemente em melão cantaloupe (OLIVEIRA et al., 2019) e Pele de Sapo (SILVA et al., 2019).

Outro aspecto importante e que merece atenção por parte dos pesquisadores é o entendimento da interação genótipos por ambientes e a quantificação da influência de variáveis genotípicas e, ou ambientais sobre a interação. Nesse sentido, a adoção de variáveis ambientais em estudos de regressão fatorial pode auxiliar na compreensão dos fatores responsáveis pelo comportamento diferencial genotípico. Na cultura do melão, no

único relato, constatou-se que as temperaturas média, máxima e mínima são as que mais influenciam na interação genótipos x ambientes em meloeiro para a produtividade (NUNES et al., 2011b). Outra possibilidade de análise é a aplicação de técnicas multivariadas como componentes principais ou análises de fatores utilizando o efeito de cultivares como aleatório (CARVALHO, 2015). Não há relatos para a aplicação da referida metodologia multivariada para estudar o efeito de covariáveis ambientais sobre a interação G x A.

Diante dessas considerações, os objetivos do presente trabalho foram: a) estudar a interação genótipo por épocas de semeadura na estação “seca”; b) identificar cultivares com maiores adaptabilidades e estabilidade fenotípica por diferentes métodos e c) quantificar a influência de covariáveis ambientais sobre a interação genótipos por ambientes.

REFERÊNCIAS

- ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics & Breeding**, Madison, v.46, p.269-278, 1992.
- ARAGÃO, F.A.S.; NUNES, G.H.S.; QUEIROZ, M.A. Genotype x environment interaction of melon families based on fruit quality traits. **Crop Breeding Applied Biotechnology**, v.15, n.2, p.79-86, 2015.
- CARVALHO, L.C.B. **Interpretação da interação genótipos x ambientes em feijão-caupi usando modelos multivariados, mistos e covariáveis ambientais**. Tese - Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2015.
- CRUZ, C. D.; CASTOLDI, F. L. Decomposição da interação genótipos ambientes em partes simples e complexa. **Revista Ceres**, v. 38, n. 219, p. 422-430, 1991.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2 ed. rev. Viçosa: Editora UFV, 1997.
- EBERHART, S.A.; RUSSELL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, v. 6, p.36-40, 1966.
- GUIMARÃES, I.P.; DOVALE, J.C.; ANTONIO, R.P.; ARAGÃO, F.A.S.; NUNES, G.H.S. Interference of genotype-by-environment interaction in the selection of inbred lines of yellow melon in an agricultural center in Mossoró-Assu, Brazil. **Acta Scientiarum**, v.38, p.51-59, 2016.
- LÉON, J.; BECKER, H. C. Repeatability of some statistical measure of phenotypic Stability: Correlations between single year results and multi years result. **Plant Breeding**, Berlin, v. 100, p. 137-142, 1988.

LEWIS, D. Gene-environment interaction. A relationship between dominance heterosis phenotype stability and variability. **Heredity**, v. 8, n. 3, p. 333-356, 1954.

LIN, C. S.; BINNS, M. R. A method of analyzing cultivars x locations x year experiments: a new stability parameter. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 76, n. 1, p. 425-430, jan. 1988.

NUNES, G. H. N.; ANDRADE NETO, R. C.; COSTA FILHO, J. H.; MELO, S. B. Influência de variáveis ambientais sobre a interação genótipos x ambientes em meloeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 4, p. 1194-1199, 2011b.

NUNES, G.H.S.; MADEIROS, A.E.S.; GRANGEIRO, L.C.; SANTOS, G.M.; SALES JUNIOR, R. Estabilidade fenotípica de híbridos de melão amarelo avaliados no Pólo Agroindustrial Mossoró-Assu. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, n.9, p.57-67, 2006.

NUNES, G.H.S.; SANTOS JÚNIOR, H.; GRANGEIRO, L.C.; BEZERRA NETO, F.; DIAS, C.T.S.; DANTAS, M.S.M. Phenotypic stability of hybrids of Gália melon. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** 83: 1421-1433, 2011a.

OLIVEIRA, L.A.A.; CARDOSO, E.A.C.; RICARTE, A.O.; MARTINS, A.F.; COSTA, J.M.; NUNES, G.H.S. Stability, adaptability and shelf life of Cantaloupe melon hybrids. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 41, n. 5, p. 1-11, 2019.

OLIVOTO, T.; LÚCIO, A. D. C.; SILVA, J. A. G.; SARI, B. G.; DIEL, M. I. Mean performance and stability in multi-environment trials II: selection based on multiple traits. **Agronomy Journal**, v. 111, n. 6, p. 2961-2969, 2019.

RESENDE, M. D. V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Embrapa Florestas, Colombo. 2007, 435 p.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 3, p. 182-194, 2007.

SILVA, E.M.; NUNES, E.W.L.P; COSTA, J.M.; RICARTE, A.O.; NUNES, G.H.S.; ARAGÃO, F.A.S. Genotype x environment interaction, adaptability and stability of 'Piel de Sapo' melon hybrids through mixed models. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 19, n.4, p. 402-411, 2019.

SILVA, J.M.; NUNES, G.H.S.; COSTA, G.G.; ARAGÃO, F.A.S.; MAIA, L.K.R. Implicações da interação genótipos x ambientes sobre ganhos com a seleção em meloeiro. **Ciência Rural**, v.41, n.1, p.51-56, 2011.

WRICKE, G. Zur Berechnung der okovalenz bei sommerweizen und hafer. **Zeitschrift fur Pflanzenzuchtung**, v.52, p.127-138, 1965.

CAPÍTULO 1

Adaptabilidade e estabilidade de híbridos de melão amarelo em diferentes locais e épocas de cultivo

RESUMO

Os objetivos do presente trabalho foram estudar a interação genótipo por ambientes e identificar cultivares com maiores adaptabilidades e estabilidade fenotípica por diferentes métodos. Foram avaliados 13 híbridos de melão amarelo em quatro municípios do Estado do Rio Grande do Norte, em duas épocas de semeadura, num total de oito ambientes. Os experimentos foram realizados em blocos completos casualizados com três repetições. Cada parcela foi constituída por duas linhas de 5,0 m de comprimento, espaçadas por 2,0 m. O espaçamento entre covas foi 0,4 m, sendo cultivada uma planta por cova. Os caracteres avaliados foram número de frutos por planta e sólidos solúveis totais. Foram utilizados os seguintes métodos de adaptabilidade e estabilidade: Wricke (1965), Eberhart e Russell (1966), Lin e Binns (1988), Annicchiarico (1992), GGE Biplot (Yan; Kang, 2003) e MHPRVG (Resende, 2007). A interação genótipos por ambientes para número de frutos por planta e sólidos solúveis é do tipo simples e cruzado, respectivamente. Os métodos de Linn e Binns (1988), Annichiarico (1992) e Resende (2007) são altamente correlacionados entre si e todos correlacionados com a média do caráter. O híbrido HA-08 é o mais promissor com elevado número de frutos por planta, alto teor de sólidos solúveis, adaptabilidade e estabilidade elevadas.

Palavras-Chave: *Cucumis melo* L., interação genótipos x ambientes, modelos mistos, indicação de cultivares.

Adaptability and stability of yellow melon hybrids in different locations and growing season

ABSTRACT

The objectives of the present work were to study the genotype interaction by environments and to identify cultivars with greater adaptability and phenotypic stability by different methods. Thirteen melon hybrids were evaluated in four municipalities in the State of Rio Grande do Norte, in two sowing dates, in a total of eight environments. The experiments were carried out in complete randomized blocks with three replications. Each plot consisted of two rows of 5.0 m in length, spaced by 2.0 m. The spacing between pits was 0.4 m, with one plant per hill. The evaluated traits were number of fruits per plant and total soluble solids. The following adaptability and stability methods were used: Wricke (1965), Eberhart and Russell (1966), Lin and Binns (1988), Annicchiarico (1992), GGE Biplot (Yan; Kang, 2003) and MHPRVG (Resende, 2007). The genotype interaction by environment for number of fruits per plant and soluble solids is of the simple and crossed type, respectively. The methods of Linn and Binns (1988), Annichiarico (1992) and Resende (2007) are highly correlated with each other and all correlated with the

character mean. The hybrid HA-08 is the most promising with a high number of fruits per plant, high content of soluble solids, high adaptability and stability.

Keywords: *Cucumis melo* L., genotype by environment interaction, mixed models, indication of cultivars.

1. INTRODUÇÃO

A cultura do melão tem sua maior expressão no agropolo compreendido entre os Estados do Rio Grande do Norte e Ceará. A área de cultivo de 22 mil hectares respondeu por mais de 95% da produção e praticamente toda a exportação do país é oriunda do referido pólo agrícola (IBGE, 2020). A atividade de cultivo de melão também tem relevância social por gerar milhares de empregos diretos e indiretos.

O cultivo do meloeiro ocorre praticamente todo o ano no semiárido brasileiro, com redução de área na estação “chuvosa” (fevereiro a maio). No segundo semestre, quando praticamente não ocorrem chuvas, há ampliação da área de cultivo. Os produtores aproveitam a entressafra de produção europeia e produzem frutos para exportação. O melão Amarelo ou Valenciano é o mais produzido por ser de mais fácil cultivo em relações aos demais tipos e ter maior vida útil pós-colheita. A área de cultivo com o referido tipo de melão é superior a 60%.

O cultivo na estação “seca” ocorre em duas épocas. O primeiro momento ocorre nos meses de junho a agosto enquanto o segundo nos meses de setembro a dezembro. Embora as diferenças em termos climáticos não sejam muito acentuadas, tem sido observada a presença da interação genótipos por épocas, acarretando reclamações por parte do setor produtivo dos híbridos recomendados pelas empresas sementeiras. Esse fato gerou preocupação por parte dos melhoristas e exige a execução de pesquisas que abordem a interação genótipos por épocas de cultivo na estação “seca”, permitindo que seja estimada a sua magnitude e de seus componentes (simples e complexo) sobre a manifestação fenotípica, bem como o desempenho dos híbridos concernente à sua adaptabilidade e estabilidade. O fenômeno da interação genótipos por ambientes foi relatado em algumas oportunidades no Agropolo Mossoró-Assú para vários tipos de híbridos (NUNES et al., 2006; FREITAS et al., 2007, NUNES et al., 2011a) e famílias (SILVA et al., 2011; ARAGÃO et al., 2015, GUIMARÃES et al., 2016). De um modo geral, os trabalhos indicam a presença da interação genótipos por locais, genótipos x anos e predominância da interação cruzada (complexa) em termos de produtividade e qualidade dos frutos.

Para o caso do meloeiro, em razão das características inerentes de cultivo e de cultura por parte dos produtores, a identificação de genótipos com elevadas adaptabilidade e estabilidade é a mais adequada para atenuar o efeito da interação genótipos por ambientes. Vários métodos foram sugeridos para estimar parâmetros de adaptabilidade e estabilidade. Dentre os métodos, estão aqueles baseados na análise de variância, regressão linear uni (FINLAY; WILKINSON, 1963; EBERHART; RUSSELL, 1966) ou bissegmentada (CRUZ et al., 1989), regressão não linear (TOLER, 1990), métodos multivariados como os modelos AMMI (GAUCH et al., 2008) e o GGE Biplot (YAN; KANG, 2003). Mais recentemente, técnicas baseadas em modelos mistos (RESENDE, 2007), bayesianos e redes neurais (NASCIMENTO et al., 2013) têm sido utilizadas em estudos adaptabilidade e estabilidade fenotípica. Os diferentes métodos variam em função dos conceitos de estabilidade e propriedades matemáticas e, quando utilizados em conjunto, podem auxiliar os pesquisadores na avaliação e seleção de genótipos.

Diante dessas considerações, o presente trabalho se propôs a estudar a interação genótipo por épocas de semeadura na estação “seca”, estimar a magnitude dos componentes simples e complexo da interação e identificar cultivares com maiores adaptabilidades e estabilidade fenotípica por diferentes métodos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Genótipos

Foram avaliados os seguintes híbridos simples de melão do tipo amarelo: Goldex, HA-01, HA-02, HA-03, HA-04, HA-05, HA-06, HA-07, HA-08, HA-09, HA-10, HA-11, e HA-12. Todos os híbridos de codificação HA são híbridos experimentais do programa de melhoramento genético desenvolvidos na Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA). São híbridos andromonóicos, mesocarpo branco e exocarpo liso com coloração amarelo intenso.

2.2 Ambientes

Os híbridos foram avaliados em quatro municípios representativos do Agropolo Mossoró-Assu: Mossoró, Baraúna, Assu e Apodi (Tabela 1). As avaliações nos quatro municípios foram realizadas em duas épocas de semeadura na estação “seca”. A primeira

época (E1) compreende os meses de Junho à Agosto e a segunda época (E2) os meses de Setembro à Novembro. Assim sendo, os híbridos foram avaliados em oito ambientes.

Tabela 1. Identificação, coordenadas geográficas, altitude, tipo de solo e dados climáticos dos ambientes de avaliação de híbridos de melão no Polo Agrícola Mossoró-Assu, RN.

Ambiente	Época	Município	Altitude (m)	Solo	Covariáveis		
					T _{MAX}	T _{MIN}	UR
MO-01	E1	Mossoró	18	LVE	30,96	28,82	83,13
BA-01	E1	Baraúna	94	NEQ	31,71	29,59	71,45
AS-01	E1	Assu	27	CAH	31,88	29,53	70,98
AP-01	E1	Apodi	13	CAH	33,11	30,59	64,34
MO-02	E2	Mossoró	18	LVE	31,6	29,3	66,21
BA-02	E2	Baraúna	94	NEQ	33,4	30,87	55,71
AS-02	E2	Assu	27	CAH	29,41	27,24	74,7
AP-02	E2	Apodi	13	CAH	30,73	28,46	65,5

E1: (Junho-Julho-Agosto); E2: (Setembro-Outubro-Novembro); LVE: Latossolo Vermelho Eutrófico; NEQ: Neossolo Quartzarênico; CAH: Cambissolo háplico. T_{MAX}: temperatura máxima (°C); T_{MIN}: temperatura mínima (°C), UR: umidade relativa (%)

2.3 Condução experimental

Em todos os ambientes, a cultura foi irrigada por gotejamento, com fertirrigação, no espaçamento de 2,0 m entre linhas e 0,4 m entre gotejadores. O volume de águas teve em torno de 300 m³. ha⁻¹. Os fertilizantes foram aplicados de acordo com as recomendações baseadas na análise do solo de cada local. As demais práticas culturais foram realizadas conforme a recomendação de manejo para a cultura no Estado (NUNES et al., 2016). Os experimentos foram realizados em blocos completos casualizados com três repetições. Cada parcela foi constituída por duas linhas de 5 m de comprimento, sendo cultivada uma planta por cova. Cada parcela possuía 20 plantas e as plantas das extremidades das duas linhas da parcela são formadas por bordaduras. A área útil foi formada por 16 plantas centrais das linhas.

2.4 Caracteres avaliados

Os caracteres avaliados foram: Número de frutos por planta e Sólidos solúveis. O número de frutos por planta foi obtido dividindo-se o total de frutos pelo número de plantas na parcela. O teor de sólidos solúveis foi obtido pela retirada de duas amostras de suco do mesocarpo com a utilização de refratômetro obtendo-se os valores em °Brix.

2.5 Análises estatísticas

2.5.1 Estimação de componentes de variância e predição de valores genotípicos

A análise estatística conjunta dos genótipos avaliados em épocas e locais, em delineamento em blocos ao acaso com uma observação por parcela, seguiu o seguinte modelo:

$$y = Xf + Zg + Qa + Ti + Wt + e$$

Em que y é vetor de dados observados; f é o vetor dos efeitos fixos das combinações repetição-local-época (assumidos como fixos) somados à média geral (μ), g é o vetor dos efeitos aleatórios genotípicos [\sim NID($0, \sigma_a^2$)], a é o vetor dos efeitos aleatórios da interação genótipos com épocas [\sim NID($0, \sigma_{ga}^2$)]; i é vetor dos efeitos aleatórios da interação genótipos x locais [\sim NID($0, \sigma_{gl}^2$)]; t é o vetor dos efeitos aleatórios da interação tripla genótipos x locais x época [\sim NID($0, \sigma_{glt}^2$)]; e e é o vetor de erros ou resíduos assumidos como aleatórios [\sim NID($0, \sigma_e^2$)]. O vetor f contempla os efeitos de repetições dentro de locais dentro de épocas, de locais, de épocas e interação locais x épocas.

Os componentes de variância foram estimados pelo método da máxima verossimilhança restrito (REML). Foi realizado o teste da razão de máxima verossimilhança restrita (LRT) para testar os componentes de variância do modelo. A função utilizada para o referido teste foi $D = 2[\log(L_{R2}) - \log(L_{R1})]$, em que D: Deviance; $\log(L_{R2})$: logaritmo do modelo com o componente de variância testado e $\log(L_{R1})$: logaritmo do modelo sem o componente de variância testado. O teste LRT segue a distribuição de Qui-quadrado (χ^2) com 1 grau de liberdade. A análise foi realizada conforme o modelo 114 do software SELEGEN-REML/BLUP (RESENDE, 2016).

2.5.2 Análises de Adaptabilidade e Estabilidade

2.5.2.1 Ecovalência (W_i), índice P_i e índice de confiança I_i

Estimou-se a ecovalência conforme metodologia de Wricke (1965) a partir dos valores preditos da interação genótipos por ambientes. O índice de estabilidade P_i foi estimado a partir das médias genóticas conforme método proposto por Linn; Binns (1988). O índice de confiança I_i foi obtido pelo método de Annicchiarico (1992). O coeficiente de confiança adotado foi de 75%, isto é, $\alpha = 0,25$.

2.5.2.2 Método GGE Biplot

A análise GGE Biplot foi realizada a partir do seguinte modelo: $\hat{g}_i + \hat{g}e_{ij} = \sum_{k=1}^p \lambda_k a_{ik} t_{jk} + \rho_{ij}$, onde: $(\hat{g}_i + \hat{g}e_{ij})$ e a estimativa do valor genotípico i acrescentado com o efeito da interação do genótipo i no ambiente j obtida na análise na REML/BLUP; λ_k : efeito do valor singular (autovalor) do componente principal k ; a_{ik} : efeito do autovetor do genótipo i no eixo k ; t_{jk} : efeito do autovetor do ambiente j no eixo k ; ρ_{ij} : efeito residual remanescente quando não são utilizados todos os componentes principais p , isto é, $p = \min(g - 1; e - 1)$. Os escores dos genótipos e ambientes foram utilizados para obtenção de um gráfico Biplot para a interpretação da estrutura da interação genótipos por ambientes.

2.5.2.3 Método da média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos

Foi estimada a média harmônica dos valores genéticos (MHVG); a performance relativa dos valores genéticos (PRVG) e a média harmônica da performance relativa dos valores genéticos (MHPRVG) a partir dos valores genotípicos estimados pelo método REML/BLUP a partir da metodologia proposta por Resende (2007).

Todas as análises de adaptabilidade e estabilidade foram realizadas pelos pacotes GGEBiplotGUI (BERNAL, 2016) e Metan (OLIVOTO; DAL'COL LÚCIO, 2020) do software R (R CORE TEAM, 2020).

2.5.2.4 Regressão linear

Parâmetros de adaptabilidade e estabilidade foram estimados pelo modelo de regressão linear desenvolvido por Eberhart e Russel (1966).

3. RESULTADOS

3.1 Interação genótipos por ambientes

Observou-se efeitos significativos para épocas de semeadura, locais e para a interação entre estes dois fatores ($p < 0,01$) para os dois caracteres em estudo. Este fato evidencia a diferenças nas condições de cultivos entre as duas épocas e entre os quatro locais, bem como na combinação entre ambos fatores.

Não se observou efeito significativo da interação genótipos por épocas de semeadura, indicando que o comportamento não diferencial dos híbridos nas duas épocas de avaliação. Por outro lado, a interação tripla (genótipo, época e local) foi significativa ($p < 0,05$) para o número de frutos por planta e a interação genótipos por local foi significativa para sólidos solúveis (Tabela 2). A presença da interação genótipos x locais indica comportamento diferencial dos genótipos nos diferentes locais. A presença da interação exige que os genótipos sejam avaliados em mais de um ambiente (combinação época-local).

Uma vez detectada a interação genótipos por ambientes e considerando que a interação genótipos por ambientes foi decomposta nas interações específicas genótipos x épocas, genótipos x locais e a interação tripla genótipos x épocas x locais, é importante que a magnitude dos tipos de interações envolvidas seja estimada para melhor interpretação da intensidade do referido fenômeno sobre a manifestação fenotípica. Para o número de frutos por planta verificou-se maior participação da interação tripla (20,39%) enquanto para sólidos solúveis a interação genótipos por locais foi mais pronunciada, isto é, 24,67% da variância fenotípica (Tabela 2).

Tabela 2. A análise de variância, estimativas das partes simples e complexas da interação, coeficiente de variação e acurácia seletiva do número de frutos por planta e sólidos solúveis medidos em híbridos de melão amarelo avaliados em quatro municípios do Agropolo Mossoró-Assu em duas épocas de semeadura da estação “seca”. Mossoró-RN, 2020.

Efeito	Caráter	
	Nº fruto por planta	Sólidos solúveis (°Brix)
Aleatório	Estimativa (χ^2)	
$\hat{\sigma}_g^2$	0,0252** (33,16)	0,0991* (12,47)
$\hat{\sigma}_{ga}^2$	0,0037 ^{ns} (4,87)	0,0011 ^{ns} (0,14)
$\hat{\sigma}_{gl}^2$	0,0003 ^{ns} (0,39)	0,1960** (24,67)
$\hat{\sigma}_{gla}^2$	0,0155* (20,39)	0,0110 ^{ns} (1,38)
$\hat{\sigma}_e^2$	0,0447 (58,82)	0,4901 (61,690)
$\hat{\sigma}_f^2$	0,0760	0,7944
Fixo	F de Snedecor	
Bloco/Ambiente	2,30*	3,87**
Época (E)	51,40**	163,75**
Local	257,74**	123,53**
E x L	16,13**	22,41**
CV(%)	12,73	5,19
As	0,97	0,72
r_g	0,78	0,41

$\hat{\sigma}_g^2$: componente de variância genotípica; $\hat{\sigma}_{ga}^2$: componente de variância da interação genótipos por época; $\hat{\sigma}_{gl}^2$: componente de variância da interação genótipos por local; $\hat{\sigma}_{gla}^2$: componente de variância da interação genótipos por local por época; $\hat{\sigma}_e^2$: componente de variância residual; CV(%): coeficiente de variação; As: acurácia seletiva; r_g : correlação genotípica entre todos os ambientes.

3.2 Adaptabilidade e estabilidade

3.2.1 Número de frutos por planta

Com relação a ecovalência, os híbridos com menor contribuição para a interação genótipos x ambientes foram HA-05 e HA-08 enquanto HA-12, HA-02, HA-04 e HA-11 tiveram maior contribuição (Tabela 3).

Apenas três híbridos apresentaram coeficientes de regressão (β_i) diferentes de 1,0, sendo dois especificamente adaptados à ambientes favoráveis (HA-08 e HA-06) e um especificamente adaptados à ambientes desfavoráveis (HA-03). Os demais híbridos apresentaram adaptabilidade geral ou média. O desvio de regressão foi não significativo em todos os híbridos, com exceção de HA-12 (Tabela 3). O genótipo ideal nessa

metodologia é aquela com média elevada, coeficiente de regressão igual a 1,0 e desvio de regressão igual a zero, nesses termos, HA-09 e HA-06.

Com relação ao método de Linn e Binns (1988), o híbrido ‘Goldex’ foi o mais estável seguido pelos híbridos HA-02, HA-05, HA-09 e HA-11. Aqueles com maior instabilidade foram HA-04, HA-01 e HA-12 (maiores P_i) (Tabela 3). Para a metodologia de Annichiarico (1992) os híbridos mais estáveis foram HA-09, HA-06 e HA-08. Concernente à metodologia da média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos (MHPRVG), os híbridos HA-09 e HA-06 são os mais estáveis, adaptados e com maior número de frutos por planta (Tabela 3).

Tabela 3. Estimativas de parâmetros de adaptabilidade e estabilidade obtidas por cinco metodologias considerando efeito de genótipos fixos para o número de frutos por planta em híbridos de melão amarelo avaliados em quatro municípios do Agropolo Mossoró-Assu em duas épocas de semeadura da estação “seca”. Mossoró-RN, 2020.

Híbrido	Média	Wricke	Eberhart e Russel		A	B	C	
		(1965)	(1966)					
		W_i (%)	β_i	δ_{ij}	R^2 (%)	P_i	I_i (%)	MHPRVG
Goldex	1,45	4,83	0,82 ^{ns}	0,01 ^{ns}	96,55	0,14	86,51	1,43
HA-01	1,50	4,47	0,98 ^{ns}	0,07 ^{ns}	96,76	1,27	98,12	1,48
HA-02	1,61	13,29	1,04 ^{ns}	0,01 ^{ns}	95,05	0,21	96,61	1,61
HA-03	1,41	7,74	0,75 [*]	0,01 ^{ns}	89,33	3,67	81,51	1,38
HA-04	1,48	12,22	0,86 ^{ns}	0,01 ^{ns}	91,89	2,49	87,09	1,47
HA-05	1,60	2,09	0,85 ^{ns}	0,01 ^{ns}	90,51	0,21	95,42	1,60
HA-06	1,82	9,04	1,26 [*]	0,01 ^{ns}	95,52	0,36	108,97	1,84
HA-07	1,49	5,11	0,98 ^{ns}	0,01 ^{ns}	88,60	0,80	86,85	1,47
HA-08	1,71	2,51	1,29 [*]	0,01 ^{ns}	96,15	0,41	100,38	1,72
HA-09	1,91	4,90	1,10 ^{ns}	0,05 ^{ns}	91,16	0,27	116,47	1,96
HA-10	1,66	7,31	1,11 ^{ns}	0,01 ^{ns}	94,19	0,46	99,86	1,67
HA-11	1,55	10,19	1,00 ^{ns}	0,01 ^{ns}	95,71	0,28	92,01	1,54
HA-12	1,59	16,31	0,98 ^{ns}	0,70 [*]	70,17	0,89	89,58	1,59

A: Linn e Binns (1988); B: Annichiarico (1992), C: Resende (2007); ¹MHVG: Média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos.

3.2.2 Sólidos solúveis

Com relação aos sólidos solúveis, verificou-se que os HA-04 e HA-03, com menores estimativas de ecovalência, foram aqueles com menor contribuição para a interação G x A enquanto HA-09 e HA-06 foram aqueles que mais contribuíram para a interação, sendo, portanto, os mais instáveis para o referido caráter (Tabela 4).

Apenas quatro híbridos apresentaram coeficientes de regressão (β_i) diferentes de 1,0, sendo três com estimativas superiores à unidade e especificamente adaptados à ambientes favoráveis (HA-02, HA-09 e HA-11) e um especificamente adaptados à ambientes desfavoráveis (HA-07). Os demais híbridos apresentaram adaptabilidade geral ou média. O desvio de regressão foi significativo para os híbridos HA-01, HA-05, HA-06, HA-09 e Goldex, evidenciando que estes genótipos são os mais instáveis (Tabela 4). Os demais híbridos apresentaram desvio de regressão não significativo. O genótipo ideal nessa metodologia é aquele com média elevada, coeficiente de regressão igual a 1,0 e desvio de regressão igual a zero, nesses termos os híbridos de maior destaque HA-08 e HA-03. Não obstante, deve ser ressaltado que a média de cada híbrido é muito elevada e está acima do valor mínimo para comercialização com o mercado externo.

Os híbridos com menor valor do índice P_i foram HA-08 e HA-07, sendo, portanto, os mais estáveis (Tabela 4). Por outro lado, os mais instáveis foram HA-09, HA-05 e HA-06, com os maiores valores de P_i . Para a metodologia de Annichiarico (1992) os híbridos mais estáveis foram HA-08 e HA-03. Estes mesmos híbridos foram os mais estáveis, adaptados e com maior sólidos solúveis considerando a metodologia da média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos (MHPRVG).

Tabela 4. Estimativas de parâmetros de adaptabilidade e estabilidade obtidas por cinco metodologias considerando efeito de genótipos fixos para sólidos solúveis em híbridos de melão amarelo avaliados em quatro municípios do Agropolo Mossoró-Assu em duas épocas de semeadura da estação “seca”. Mossoró-RN, 2018.

Híbrido	Média	Wricke	Eberhart e Russel			A	B	C
		(1965)	β_i	δ_{ij}	R^2	P_i	I_C	MHPRVG
		W_i (%)			(%)		(%)	
Goldex	13,70	8,78	0,82 ^{ns}	0,21 [*]	69,24	0,70	98,24	13,67
HA-01	13,31	9,69	0,81 ^{ns}	0,25 [*]	66,58	0,91	95,25	13,33
HA-02	13,36	9,50	1,55 [*]	0,09 ^{ns}	97,88	0,99	94,99	13,35
HA-03	14,23	4,47	0,86 ^{ns}	0,02 ^{ns}	83,31	0,15	103,06	14,15
HA-04	13,63	2,55	0,89 ^{ns}	0,06 ^{ns}	90,47	0,59	99,12	13,62
HA-05	13,07	8,48	0,86 ^{ns}	0,22 [*]	71,26	1,43	93,70	13,12
HA-06	13,31	10,23	1,26 ^{ns}	0,24 [*]	83,16	1,09	94,82	13,31
HA-07	13,92	8,61	0,66 [*]	0,09 ^{ns}	67,75	0,30	99,94	13,88
HA-08	14,33	5,23	0,91 ^{ns}	0,07 ^{ns}	81,41	0,05	103,63	14,23
HA-09	13,04	12,51	1,32 [*]	0,30 [*]	82,58	1,51	92,53	13,08
HA-10	13,27	5,46	0,80 ^{ns}	0,04 ^{ns}	79,49	1,02	95,78	13,31
HA-11	13,48	7,83	1,35 [*]	0,05 ^{ns}	91,36	0,80	96,37	13,46

HA-12	13,32	6,68	0,93 ^{ns}	0,15 ^{ns}	78,00	1,00	95,84	13,35
-------	-------	------	--------------------	--------------------	-------	------	-------	-------

A: Linn e Binns (1988); B: Annichiarico (1992), C: Resende (2007); ¹MHPRVG: Média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos.

3.3 GGE Biplot

A análise GGE fundamenta-se na ideia de que o efeito principal de genótipo (G) e interação genótipo por ambiente (GEI) são as duas fontes de variação relevantes na avaliação genotípica e, portanto, devem ser considerados simultaneamente para a avaliação apropriada do genótipo. O método gráfico foi empregado para investigar a variação ambiental e interpretar a interação G x A. Para o número de frutos por planta, o primeiro e segundo componentes principais captaram 68,85% e 17,17% da soma dos quadrados da G x A, para respectivamente, totalizando uma variação acumulada de 79,59%. Para sólido solúveis, os dois primeiros componentes principais explicaram 47,97% e 21,11% da variação devido à soma dos quadrados da G x A.

O gráfico GGE Biplot permite a visualização de detalhes da interação G x A como o comportamento dos genótipos em relação aos ambientes. Além disso, aborda graficamente conceitos importantes, como interação cruzada e mega-ambientes. O termo mega-ambiente define a partição de uma região de cultivo em diferentes zonas (GAUCH; ZOBEL, 1997). O polígono do gráfico GGE Biplot baseado no escalonamento simétrico para identificar o padrão “Which-Won-Where” de genótipos e ambientes está apresentado na (Figura 1).

Para o número de frutos por planta, o polígono foi composto por seis vértices, dividindo o gráfico em seis seções. Os ambientes se dividiram em dois mega-ambientes, sendo o primeiro composto somente pelo ambiente AP-01, e o segundo, pelos demais ambientes (Figura 1A). O vértice do primeiro mega-ambiente foi constituído pelo híbrido HA-11 enquanto o híbrido HA-08 compôs o vértice do segundo mega-ambiente. Os genótipos em cada vértice são aqueles com maior número de frutos por planta na maioria dos ambientes do mega-ambiente. Observou-se também que nenhum mega-ambiente se enquadrava em setores onde os demais híbridos de genótipos HA-02, HA-03 e HA-06 eram os genótipos de vértices, indicando que esses genótipos não foram produtivos em ambiente de avaliação.

Para sólidos solúveis, observou-se que o polígono foi formado por sete vértices, cada um composto por um genótipo (HA-04, Goldex, HA-06, HA-02, HA-07, HA-05 e HA-08), dividindo o gráfico em sete seções. Os ambientes se dividiram em apenas duas seções, mas os genótipos foram distribuídos em quatro seções. O genótipo no vértice de

cada setor é o que apresentou maior média para o caráter nos ambientes que se enquadram nesse setor (Figura 1B). Foram identificados dois mega-ambientes para o cultivo de melão. O primeiro mega-ambiente contemplou os ambientes AS-01, AS-02, BA-01, BA-02, AP-01 e AP-02 com um genótipo de vértice HA-06. O referido genótipo foi o vencedor na maioria desses ambientes. Os ambientes MO-01 e MO-02 foram os únicos ambientes encontrados no segundo mega-ambiente com seu genótipo de vértice HA-07. Os demais híbridos, com exceção de HA-02, não alocados nos dois mega-ambientes.

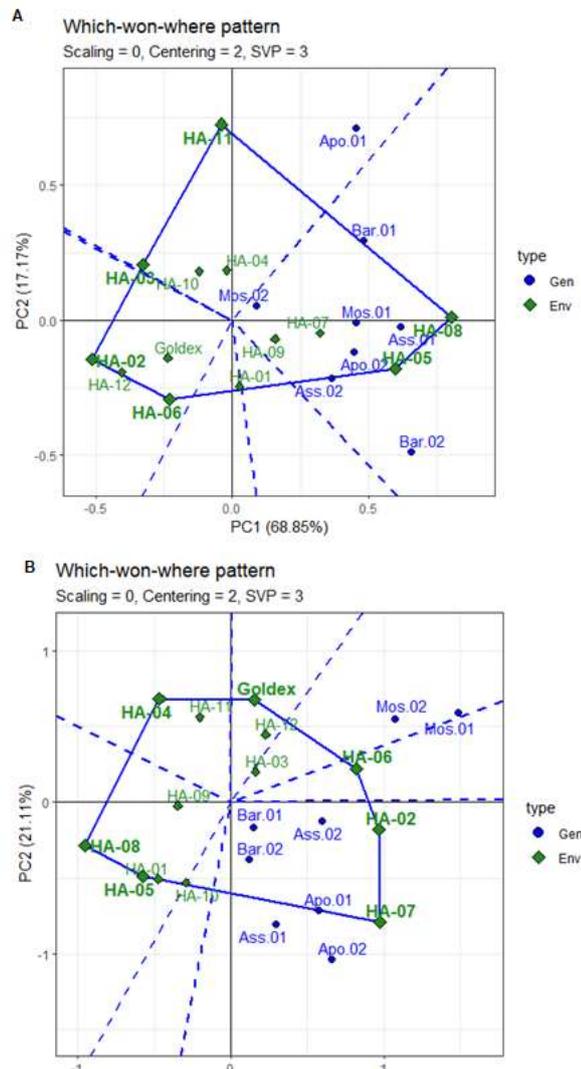


Figura 1. Gráfico GGE biplot “Which-Won-Where” para o número de frutos por planta e sólidos solúveis avaliados em híbridos de melão amarelo cultivados em avaliados em quatro municípios do Agropolo Mossoró-Assú em duas épocas de semeadura da estação “seca”. Mossoró-RN, 2020.

Na metodologia GGE Biplot, a estimativa da média do caráter e da estabilidade dos genótipos foi realizada usando os métodos de coordenadas do ambiente médio

(testador) (AEC). A linha que passa pela origem do Biplot é chamada de coordenada do ambiente médio (testador) (AEC), que é definida pelos scores médios dos dois primeiros componentes principais para todos os ambientes. A ordenada (AEC) separa os híbridos com performance abaixo e acima da média geral. Assim, os híbridos com número de frutos por planta superior à média geral foram HA-08, HA-05, HA-07, HA-09 e HA-01 (Figura 2A). Para sólidos solúveis os híbridos de maior média foram HA-07, HA-02, HA-06, HA-12 e HA-03 (Figura 2B).

Híbridos próximos da origem têm o menor vetor em relação à (AEC), sendo, portanto, mais estáveis. Por outro lado, uma projeção mais longa ao (AEC), independentemente da direção, representa uma maior instabilidade. Assim sendo, para número de frutos por planta, os híbridos HA-09, HA-07 e HA-08 foram os mais estáveis (Figura 2A). Os híbridos HA-11 e HA-06 com vetor longo, mais distante da linha (AEC), foram os mais instáveis. Para sólidos solúveis, os híbridos HA-07, HA-03, HA-09 e HA-02 foram os mais estáveis, enquanto os híbridos HA-08, Goldex, HA-01, HA-10 e HA-05 foram os mais instáveis (Figura 2B).

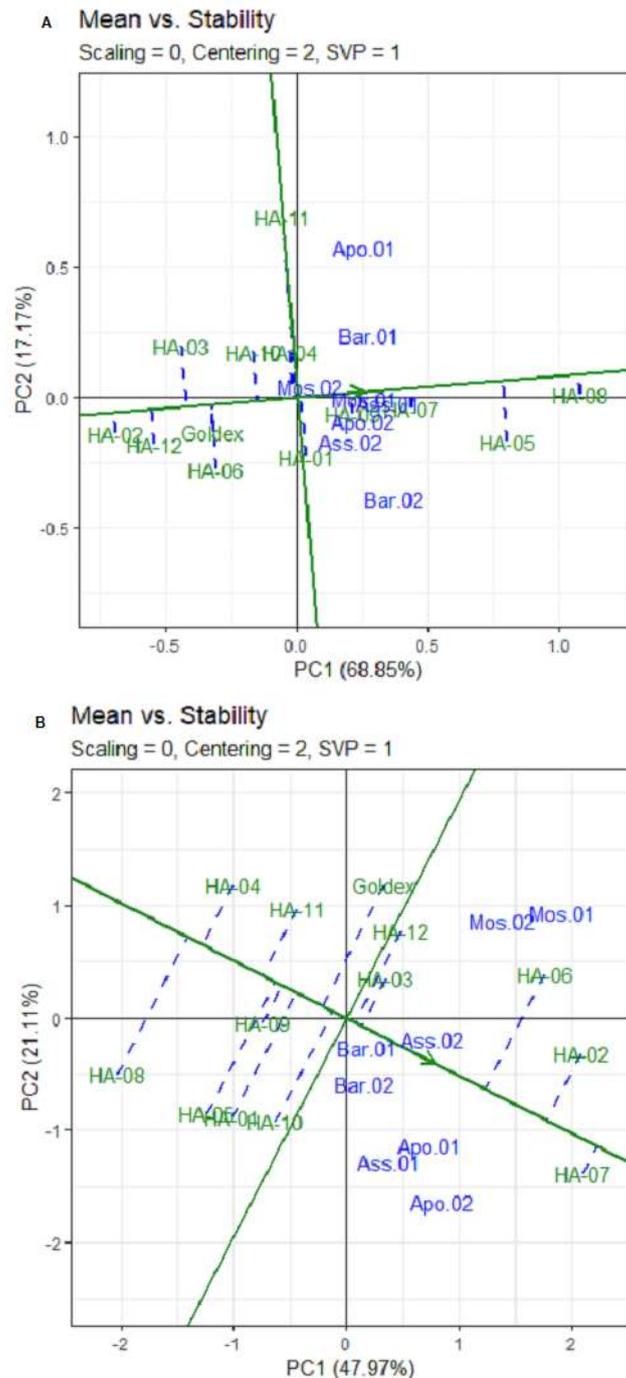


Figura 2. Gráfico GGE biplot de Média e instabilidade para o número de frutos por planta e sólidos solúveis avaliados em híbridos de melão amarelo cultivados em avaliados em quatro municípios do Agropolo Mossoró-Assu em duas épocas de semeadura da estação “seca”. Mossoró-RN, 2020.

Espera-se que um genótipo ideal tenha o maior desempenho médio e estabilidade no desempenho entre ambientes. Embora esse genótipo ideal possa não existir na realidade, ele pode ser considerado uma referência para a avaliação do genótipo. O genótipo ideal está localizado no primeiro círculo concêntrico no biplot. Os genótipos

encontrados mais próximos dos genótipos ideais são desejáveis e aqueles encontrados longe do genótipo ideal são considerados genótipos indesejáveis, portanto, o genótipo ideal pode ser usado como referência para seleção. Assim, para o número de frutos por planta, os híbridos próximos ao primeiro círculo concêntrico, HA-08, HA-05 e HA-07, foram localizados próximos ao genótipo ideal, portanto, foram os genótipos desejáveis (Figura 3A). Os híbridos HA-07, HA-02 e HA-06, próximos dos primeiros círculos concêntricos, foram os promissores para sólidos solúveis (Figura 3B).

Com relação aos dois caracteres estudados, em termos de consistência de resultado, verificou-se que o método de Linn e Binns (1988) se correlacionou negativamente com a média do caráter e os métodos de Annichiarico (1992) e Resende (2007), sendo que estes se correlacionaram positivamente.

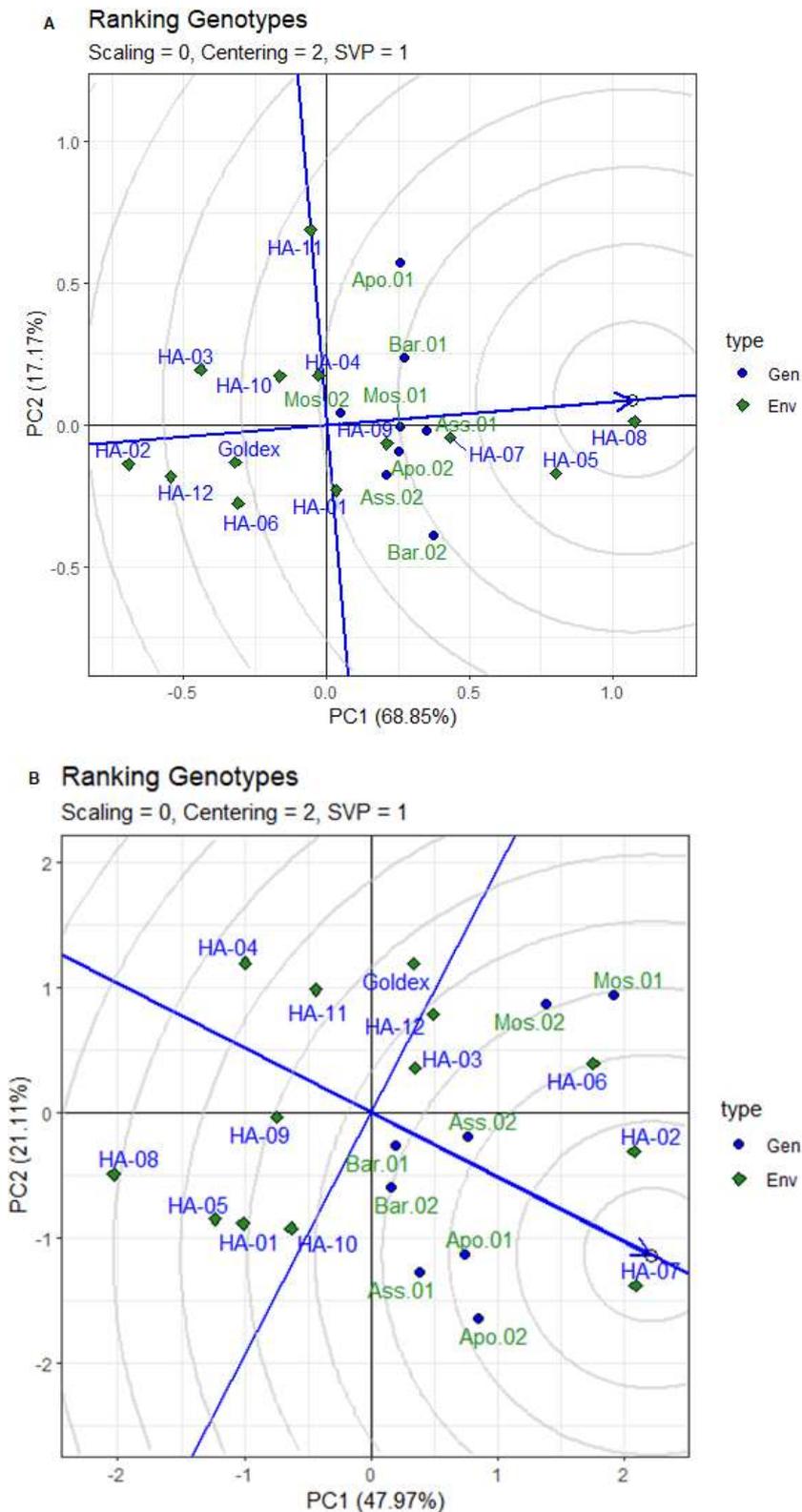


Figura 3. Gráfico GGE biplot de Média e instabilidade para o número de frutos por planta e sólidos solúveis avaliados em híbridos de melão amarelo cultivados em avaliados em quatro municípios do Agropolo Mossoró-Assu em duas épocas de semeadura da estação “seca”. Mossoró-RN, 2020.

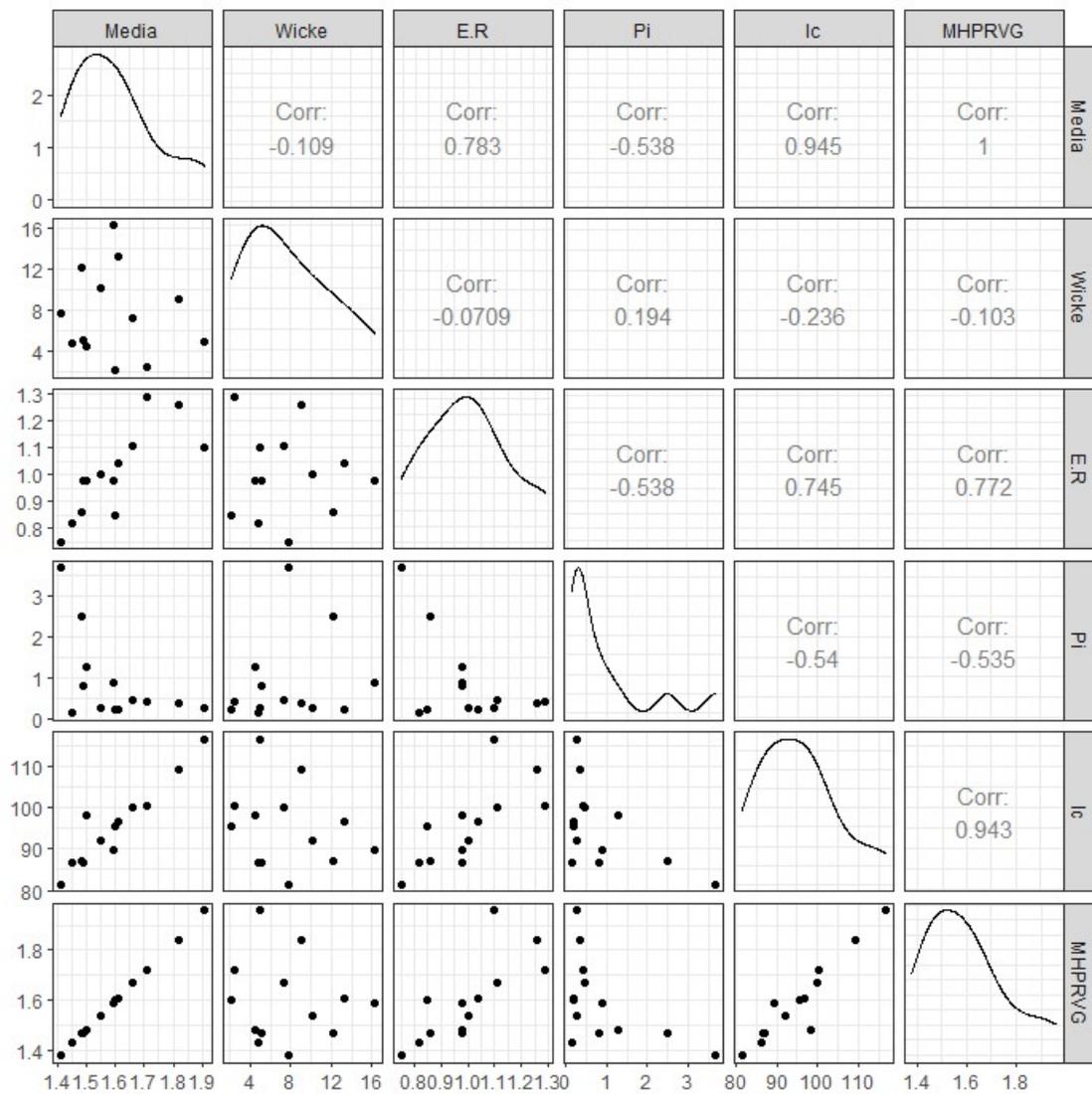


Figura 4. Correlações entre parâmetros de adaptabilidade e estabilidade estimados por seis métodos para número de frutos por planta avaliado em híbridos de melão amarelo cultivados em quatro municípios do Agropolo Mossoró-Assu em duas épocas de semeadura da estação “seca”. Mossoró-RN, 2020.

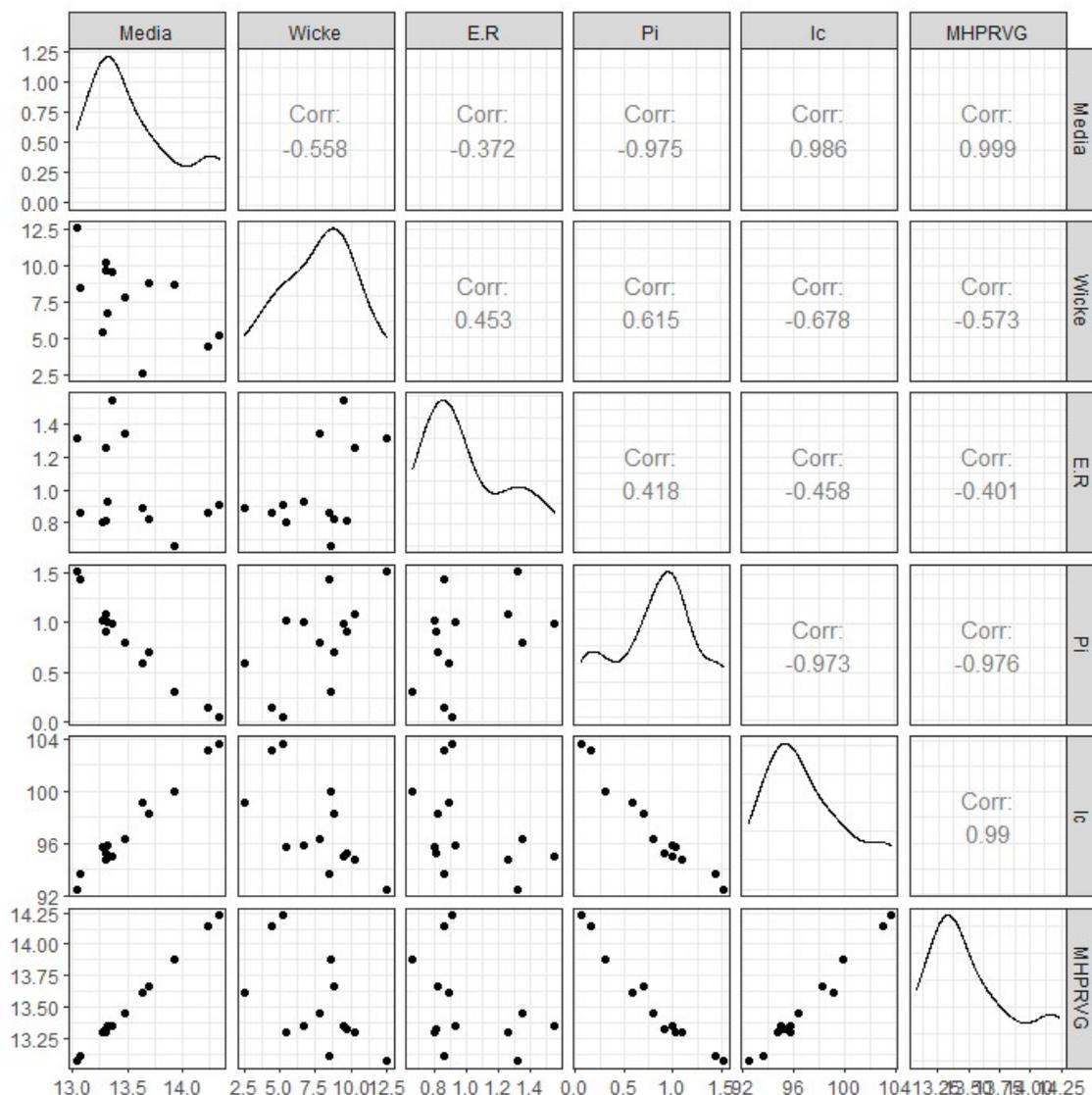


Figura 5. Correlações entre parâmetros de adaptabilidade e estabilidade estimados por seis métodos para sólidos solúveis avaliado em híbridos de melão amarelo cultivados em quatro municípios do Agropolo Mossoró-Assu em duas épocas de semeadura da estação “seca”. Mossoró-RN, 2020.

4. DISCUSSÃO

Em ensaios de avaliação de cultivares uma preocupação inicial é a qualidade dos ensaios. Esse fato é relevante uma vez que nos atuais programas de melhoramento genético com o meloeiro as diferenças entre os híbridos são reduzidas devido aprimoramento do processo seletivo e nível de parentesco dos genótipos avaliados. O coeficiente de variação tem sido a medida de precisão experimental ainda mais utilizada pelos pesquisadores. Considerando as estimativas do referido parâmetro, pode-se afirmar

que os ensaios foram realizados com elevada precisão para os dois caracteres conforme a classificação de Lima et al. (2004).

Outro parâmetro utilizado dentro do contexto dos modelos mistos é a acurácia seletiva. Este parâmetro refere-se à correlação entre o valor genotípico verdadeiro do tratamento genético e aquele estimado ou predito a partir das informações dos experimentos (RESENDE; DUARTE, 2007). Assim sendo, conforme a classificação apresentada pelos referidos autores, a precisão para número de frutos por planta e sólidos solúveis é muito alta ($\geq 0,90$) e alta ($\geq 0,70$), respectivamente (Tabela 2)

A presença da interação genótipos x ambientes tem sido verificada em melão no Agropolo Mossoró-Assú para a produtividade e sólidos solúveis (NUNES et al., 2006; FREITAS et al., 2007; SILVA et al., 2011; NUNES et al., 2011a; ARAGÃO et al., 2015; GUIMARÃES et al., 2016). Resultados discrepantes entre trabalhos se devem, principalmente, ao grupo de genótipos e condições ambientais.

A interação genótipos por ambientes é decorrente de dois componentes de diferentes naturezas, quais sejam: simples e complexa. Considerando todos os oito ambientes, verificou-se uma pequena predominância da parte simples para o número de frutos por planta. O componente simples decorre da diferença na magnitude da diferença genotípica nos ambientes e não altera a classificação dos genótipos.

A parte complexa foi mais pronunciada para sólidos solúveis. O componente complexo ou interação cruzada, é gerado pela falta de correlação genética nos ambientes. Este componente dificulta o trabalho de seleção ou recomendação do melhorista, pois altera a ordem dos genótipos nos diferentes ambientes (NUNES et al., 2011a,b). As estimativas dos coeficientes de correlação genotípica em todos os ambientes para os dois caracteres corroboram com os resultados observados para os componentes simples e complexos. Os relatos de trabalhos têm revelado que a interação genótipos x ambientes em melão é devida principalmente ao componente complexo para sólidos solúveis e produtividade (NUNES et al., 2006; NUNES et al., 2011; ARAGÃO et al., 2015; GUIMARÃES et al., 2016). Poucos relatos observaram maior efeito do componente simples sobre sólidos solúveis (SILVA et al., 2011).

A interação genótipos x ambientes pode ser explorada na seleção de genótipos para determinado ambiente ou região. Nesse caso, a interação é capitalizada, aumentando o valor fenotípico do caráter. Entretanto, no Polo Agrícola Mossoró-Assú, tal estratégia ainda é de difícil execução. Por outro lado, o fato de existir mudança na classificação diante de variação ambiental, em razão da predominância da parte complexa, não exclui

a seleção de materiais estáveis e com adaptação ampla (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

A interação genótipos por ambientes, presente nos programas de melhoramento genético, nunca deve ser ignorada, pois influencia o processo de seleção ou recomendação de cultivares (NUNES et al., 2002; GUIMARÃES et al., 2016). Assim sendo, uma vez constatada a interação significativa entre genótipos x ambientes, procura-se sempre amenizar o seu efeito sobre a manifestação fenotípica. Uma das possibilidades é a identificação de híbridos que associem boas características produtivas e de fruto com maior estabilidade. Em estudos de adaptabilidade e estabilidade, existem métodos uni ou multivariados que diferem em função dos modelos existentes e processo de estimação de parâmetros. A utilização de métodos distintos na caracterização do perfil de um genótipo quanto à sua adaptabilidade e estabilidade é recomendável porque permite a complementação de informações presentes em cada método.

Os procedimentos mais empregados são os que utilizam a regressão linear, sendo o método de Eberhart e Russel (1966) o mais utilizado. No referido método o genótipo ideal deve ter média elevada do caráter, coeficiente de regressão igual a 1,0 e desvio de regressão igual a zero, caracterizando a estabilidade do tipo II (estabilidade agrônômica) (BECKER; LEÓN, 1988; YAN; KANG, 2003). Convém ressaltar que genótipos com coeficientes de regressão superior a 1,0, responsivos à melhoria das condições ambientais, para o caso do meloeiro, são desejados em razão da alta tecnologia empregada pelo setor produtivo. Os produtores de melão estão sempre inovando e adotando tecnologias que promovem a qualidade ambiental e potencializa o aumento de produção e qualidades dos frutos. Assim sendo, os híbridos HA-08 e HA-06, para o número de frutos por planta; bem como, HA-02, HA-09 e HA-11, para sólidos solúveis, merecem destaque considerando o contexto específico da cultura do melão.

O método de Wricke (1965) informa sobre a contribuição do genótipo para a interação G x A pelo parâmetro de ecovalência. Permite a identificação de genótipos com estabilidade biológica (Becker; León, 1988). Os híbridos do presente trabalho diferiram bastante quanto a esse critério de estabilidade, sendo os mais estáveis HA-05 e HA-08 para número de frutos por planta e, HA-04 e HA-03, para sólidos solúveis. Esse tipo de estabilidade não é a desejada por, geralmente, está associada à menor média do caráter (RAMALHO et al., 2012). Fato observado no presente trabalho (Figuras 4 e 5).

No método de Linn e Binns (1988) o parâmetro de P_i mede a estabilidade do genótipo, tendo o mais estável aquele genótipo com menor valor. O método de Annichiarico (1992) estima o coeficiente de confiança (I_c) e o método de Resende (2007) estima a média harmônica da performance relativa dos valores genéticos (MHPRVG). Para estes dois métodos quanto maior a estimativa do seu respectivo parâmetro, maior a adaptabilidade e, ou, estabilidade fenotípica. Os três métodos citados possuem estreita relação, sendo P_i negativamente correlacionado com I_c e MHPRVG, que por sua vez, são estreitamente relacionados. Esses parâmetros estão relacionados à média, evidenciando que ao selecionar genótipos a partir um desses métodos, também selecionará para média do caráter.

Todos os híbridos avaliados possuem elevadas médias para os dois caracteres avaliados. Esse resultado era esperado por se tratar de genótipos advindos de linhagens selecionadas nas condições de cultivo deste trabalho. Esse fato dificulta a recomendação de cultivares, fato observado nessa etapa do programa de melhoramento genético de muitas culturas. Não obstante, o híbrido HA-08 é o que reúne as características mais desejadas de reduzida contribuição para a interação genótipos por ambientes, elevada média para os dois caracteres, sendo, portanto, o mais promissor para recomendação como cultivares.

5. CONCLUSÕES

- A interação genótipos por ambientes para número de frutos por planta e sólidos solúveis é do tipo simples e cruzado, respectivamente;
- Os métodos de Linn e Binns (1988), Annichiarico (1992) e Resende (2007) são altamente correlacionados entre si e todos correlacionados com a média do caráter;
- O híbrido HA-08 é o mais promissor com elevado número de frutos por planta, alto teor de sólidos solúveis, adaptabilidade e estabilidade elevadas;

REFERÊNCIAS

ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfafa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics & Breeding**, Madison, v.46, p.269-278, 1992.

ARAGÃO, F.A.S.; NUNES, G.H.S.; QUEIROZ, M.A. Genotype x environment interaction of melon families based on fruit quality traits. **Crop Breeding Applied Biotechnology**, v.15, n.2, p.79-86, 2015.

BECKER, H.C.; LÉON, J. Stability analysis in plant breeding. **Plant Breeding**, Berlin, v.101, n.1, p.1-23, Apr. 1988.

BERNAL, E. F. GGEBiplotGUI: Interactive GGE Biplots in R, 2016.

CRUZ, C.D.; TORRES, R.A. de; VENCOVSKY, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva e Barreto. **Revista Brasileira de Genética**, v.12, p.567-580, 1989.

EBERHART, S.A.; RUSSELL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, v. 6, p.36-40, 1966.

FINLAY, K.W.; WILKINSON, G.N. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.14, p.742- 754, 1963.

FREITAS, J.G.; CRISÓSTOMO, J.R.; SILVA, F.P.; PITOMBEIRA, J.B.; TÁVORA, F.J.A.F. Interação entre genótipo e ambiente em híbridos de melão-amarelo no Nordeste do Brasil. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.38, n.2, p.176-181, 2007.

GAUCH, H.G.; PIEPHO, H.; ANNICCHIARICO, P. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE: further considerations. **Crop Science**, Madison, v.48, n.2, p.866-889, 2008.

GUIMARÃES, I.P.; DOVALE, J.C.; ANTONIO, R.P.; ARAGÃO, F.A.S.; NUNES, G.H.S. Interference of genotype-by-environment interaction in the selection of inbred lines of yellow melon in an agricultural center in Mossoró-Assu, Brazil. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.38, p.51-59, 2016.

LIMA, L.L.; NUNES, G.H.S.; BEZERRA NETO, F. Coeficientes de variação de algumas características do meloeiro: uma proposta de classificação. **Horticultura Brasileira**, v.22, p.14-17, 2004.

LIN, C.S.; BINNS, M.R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.68, p.193-198, 1988.

NASCIMENTO, M.; PETERNELLI, L.A.; CRUZ, C.D.; NASCIMENTO, A.C.C.; FERREIRA, R. de P.; BHERING, L.L.; SALGADO, C.C. Artificial neural networks for adaptability and stability evaluation in alfalfa genotypes. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.13, p.152-156, 2013.

NUNES, G. H. S.; RESENDE, G. D. S. P.; RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. Implicações da interação genótipo x ambientes na seleção de clones de eucalipto. **Cerne**, v.8, n.1. p.49-58, 2002.

NUNES, G.H.S.; ARAGAO, F.A.S.; NUNES, E. W.L.P.; COSTA, J.M.; RICARTE, A.O. **Melhoramento de Melão**. In: CARLOS NICK; ALUÍZIO BORÉM. (Org.). **Melhoramento de hortaliças**. 1^{ed}.Viçosa: Editora UFV, 2016, v. 1, p. 331-363.

NUNES, G.H.S.; MADEIROS, A.E.S.; GRANGEIRO, L.C.; SANTOS, G.M.; SALES JUNIOR, R. Estabilidade fenotípica de híbridos de melão amarelo avaliados no Pólo Agroindustrial Mossoró-Assu. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.9, p.57-67, 2006.

NUNES, G.H.S.; SANTOS JÚNIOR, H.; GRANGEIRO, L.C.; BEZERRA NETO, F.; DIAS, C.T.S.; DANTAS, M.S.M. Phenotypic stability of hybrids of Gália melon. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** **83**: 1421-1433, 2011a.

OLIVOTO, T.; DAL'COL LÚCIO, A. Metan: An R package for multi-environment trial analysis. *Methods in Ecology and Evolution*, v, 00, p. 1-7, 2020.

R CORE TEAM (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<http://www.r-project.org>>. Acesso em: 20 jan. 2020.

RESENDE, M. D. V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Embrapa Florestas, Colombo. 2007, 435 p.

RESENDE, M. D. V. Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 16, n. 4, p. 330-339, 2016.

SILVA, J.M.; NUNES, G.H.S.; COSTA, G.G.; ARAGÃO, F.A.S.; MAIA, L.K.R. Implicações da interação genótipos x ambientes sobre ganhos com a seleção em meloeiro. **Ciência Rural**, v.41, n.1, p.51-56, 2011.

TOLER, J.E. **Patterns of genotypic performance over environmental arrays**. 1990. 154p. Thesis (Ph.D.) – Clemson University, Clemson.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496p.

WRICKE, G. Zur Berechnung der okovalenz bei sommerweizen und hafer. **Zeitschrift fur Pflanzenzuchtung**, v.52, p.127-138, 1965.

YAN, W., AND M.S. KANG. 2003. **GGE Biplot Analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists**. CRC Press, Boca Raton, FL.

CAPÍTULO 2

Influência de ambientais sobre a interação genótipos por ambientes em meloeiro no semiárido

RESUMO

Pouco se conhece sobre a influência de covariáveis ambientais sobre a interação genótipos por ambientes em meloeiro cultivados nas condições de semiárido. Os objetivos do presente trabalho foram avaliar a influência de variáveis ambientais sobre a interação genótipos por ambientes e identificar genótipos adaptados e estáveis. Foram avaliados treze híbridos de melão amarelo em blocos casualizados com quatro repetições em quatro municípios do Rio Grande do Norte em duas épocas de semeadura para o número de frutos por planta e sólido solúveis. Foram utilizadas as metodologias de regressão fatorial e análise de componentes principais com os valores preditos dos efeitos da interação genótipos x ambientes para quantificar o papel de quatro covariáveis ambientais sobre a interação genótipos por ambiente. Utilizou-se o método da Média Harmônica da Performance Relativa dos valores Genotípicos (MHPRVG) para identificar genótipos adaptados e estáveis. As covariáveis ambientais estudadas foram temperatura máxima e mínima, umidade relativa e radiação. O modelo covariável-biplot é útil para relacionar fatores ambientais importantes e indicar a sua influência relativa sobre o número de frutos por planta e sólidos solúveis. As variáveis temperatura mínima, umidade relativa e radiação solar são aquelas de maior contribuição para a interação híbridos por ambientes. Os híbridos diferem quanto à sensibilidade frente às covariáveis ambientais, sendo divididos em um grupo que tem influência positiva da temperatura máxima e umidade relativa e influência negativa da temperatura mínima e radiação solar; e outro com comportamento oposto tanto para o número de frutos por planta e sólidos solúveis. O híbrido HA-08 é o mais estável e adaptado para o número de frutos por planta e sólidos solúveis.

Palavras-Chave: *Cucumis melo* L., modelos mistos, REML/BLUP, análise multivariada, regressão fatorial.

Influence of environmental variables on the interaction genotypes x environments in melon in the semiarid

ABSTRACT

There is little known about the influence of environmental covariates on genotype interaction by melon environments grown in semiarid conditions. The objectives of this work were to evaluate the influence of environmental variables on the interaction among genotypes by environment and to identify adapted and stable genotypes. Thirteen yellow melon hybrids were evaluated in randomized blocks with four replications in four municipalities in Rio Grande do Norte in two sowing seasons for the number of fruits per plant and soluble solid. Factor regression methodologies and principal component analysis were used with the predicted values of the effects of the genotype x environment interaction to quantify the role of four environmental covariates on the genotype by

environment interaction. The Harmonic Mean of Relative Performance of Genotypic Values (MHPRVG) method was used to identify adapted and stable genotypes. The studied environmental covariates were both maximum and minimum temperature, relative humidity and radiation. The covariate-biplot model is useful for relating important environmental factors and indicating their relative influence on the number of fruits per plant and soluble solids. The variables minimum temperature, relative humidity and solar radiation are those with the greatest contribution to the interaction between hybrids and environments. The hybrids differ in sensitivity to environmental covariates, being divided into a group that has a positive influence of maximum temperature and relative humidity and a negative influence of minimum temperature and solar radiation; and another with the opposite behavior for both the number of fruits per plant and soluble solids. The HA-08 hybrid is the most stable and adapted to the number of fruits per plant and soluble solids.

Keywords: *Cucumis melo* L., mixed models, REML/BLUP, multivariate analysis, factorial regression.

1 INTRODUÇÃO

A interação genótipos por ambientes é fenômeno comum ao se avaliar vários materiais em diferentes condições ambientais. É definida como o comportamento diferencial dos genótipos nos diferentes ambientes. A interação genótipo por ambientes decorre das diferenças de adaptação dos genótipos decorrentes das distintas constituições genótípicas, especialmente para caracteres relacionados à adaptação. A resposta diferencial pode ocorrer devido a mecanismos de expressão gênica até caracteres morfológicos finais (MALOSETTI et al., 2016).

O termo ambiente é entendido como toda variação de origem não genética (MACKAY, 2010; MALOSETTI et al., 2016). Dois tipos de fatores ambientais contribuem para a interação genótipos por ambientes, quais sejam, previsíveis e imprevisíveis. No primeiro estão as variações de ambiente que ocorrem entre os locais da área de distribuição da cultura, tais como solo e técnicas agronômicas. No segundo estão as variações como frequência e distribuição de chuvas, temperatura do ar e do solo, ocorrência de geadas, entre outras (ALLARD; BRASHAW, 1964).

O uso de covariáveis ambientais pode ser útil para melhor compreender a interação G x A uma vez que quando informações ambientais estão disponíveis, é possível avaliar seus efeitos sobre a interação (GAUCH, 2006). Alguns autores têm utilizado covariáveis ambientais para explicar a interação G x A em várias culturas, como sorgo (SAEED; FRANCIS, 1984), milho (RAMASAMY et al., 1996), trigo (BRANCOURT-HULMEL et al., 2003; VOLTAS et al., 2005), soja (OLIVEIRA et al., 2006), milho (LIU et al., 2013) e cana de açúcar (RABURAM et al., 2013).

Na cultura do melão, ainda são escassos estudos que informem a contribuição de variáveis ambientais sobre a interação genótipos por ambientes. No único relato, verificou-se que as temperaturas média, máxima e mínima são as que mais influenciam na interação genótipos x ambientes em meloeiro para a produtividade (NUNES et al., 2011a). Neste trabalho e nos demais citados, foi utilizada a regressão fatorial por quadrados mínimos ordinários e estima-se a contribuição de cada covariável ambiental para a interação (VAN EEUWIJK et al., 1996). Outra possibilidade de análise é a aplicação de técnicas multivariadas como componentes principais ou análises de fatores utilizando o efeito de cultivares como aleatório. Um dos trabalhos pioneiros com essa abordagem foi realizado com êxito em feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) a partir de covariáveis ambientes sazonais e geográficas (CARVALHO, 2015).

Diante dessas considerações, o presente trabalho propõe-se a quantificar a influência de covariáveis ambientais sobre a interação genótipos por ambientes, por técnicas multivariadas e uso de modelos mistos, além de identificar genótipos adaptados e estáveis para as condições de semiárido.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Genótipos

Foram avaliados os seguintes híbridos simples de melão do tipo amarelo: HA-01, HA-02, HA-03, HA-04, HA-05, HA-06, HA-07, HA-08, HA-09, HA-10, HA-11 e Goldex. Todos os híbridos de codificação HA são híbridos experimentais do programa de melhoramento genético desenvolvidos na Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA). São dos todos híbridos andromonóicos, mesocarpo branco e exocarpo liso com coloração amarelo intenso.

2.2 Ambientes

Os híbridos foram avaliados em quatro municípios representativos do Agropolo Mossoró-Assu no Rio Grande do Norte: Mossoró, Baraúna, Assú e Apodi (Tabela 5). As avaliações nos quatro municípios foram realizadas em duas épocas de semeadura na estação “seca”. A primeira época (EP-1) compreende os meses de junho a agosto e a segunda época (EP-2) os meses de setembro a novembro. Assim sendo, os híbridos foram avaliados em oito ambientes.

Tabela 5. Identificação, coordenadas geográficas, altitude, tipo de solo e dados climáticos dos ambientes de avaliação de híbridos de melão no Polo Agrícola Mossoró-Assu, RN.

Ambiente	Época	Município	Altitude	Solo	T _{MAX}	T _{MIN}	UR	RAD
MO-01	E1	Mossoró	18	LVE	30,96	28,82	83,13	1943,37
BA-01	E1	Baraúna	94	NEQ	31,71	29,59	71,45	2066,05
AS-01	E1	Assu	27	CAH	31,88	29,53	70,98	1868,87
AP-01	E1	Apodi	13	CAH	33,11	30,59	64,34	2055,69
MO-02	E2	Mossoró	18	LVE	31,6	29,3	66,21	1965,26
BA-02	E2	Baraúna	94	NEQ	33,4	30,87	55,71	2274,01
AS-02	E2	Assu	27	CAH	29,41	27,24	74,7	1879,75
AP-02	E2	Apodi	13	CAH	30,73	28,46	65,5	2067,01

E1: (Junho-Julho-Agosto); E2: (Setembro-Outubro-Novembro); LVE: Latossolo Vermelho Eutrófico; NEQ: Neossolo Quartzarênico; CAH: Cambissolo háplico. T_{MAX}: temperatura máxima (°C); T_{MIN}: temperatura mínima (°C), UR: umidade relativa (%); RAD: radiação solar (KJ/m²)

2.3 Condução experimental

Em todos os ambientes, a cultura foi irrigada por gotejamento, com fertirrigação, no espaçamento de 2,0 m entre linhas e 0,5 m entre gotejadores. O volume de águas teve em torno de 300 m³ ha⁻¹. Os fertilizantes foram aplicados de acordo com as recomendações baseadas na análise do solo de cada local. As demais práticas culturais foram realizadas conforme a recomendação de manejo para a cultura no Estado (NUNES et al., 2016). Os experimentos foram realizados em blocos completos casualizados com três repetições. Cada parcela foi constituída por duas linhas de 5 m de comprimento, espaçadas por 2 m. O espaçamento entre covas foi 0,5 m, sendo cultivada uma planta por cova. Cada parcela possuía 20 plantas e as plantas das extremidades das duas linhas da parcela formaram a bordadura de cabeceira. A área útil foi formada pelas 16 plantas centrais das linhas.

2.4 Caracteres avaliados

Os caracteres avaliados foram: Número de frutos por planta e Sólidos solúveis. O número de frutos por planta foi obtido dividindo-se o total de frutos pelo número de

plantas na parcela. O teor de sólidos solúveis foi obtido pela retirada de duas amostras de suco do mesocarpo com a utilização de refratômetro obtendo-se os valores em °Brix.

2.5 Análise estatística

Para avaliar os efeitos específicos das covariáveis ambientais sobre a interação genótipos por ambientes, foram realizadas análises sucessivas de regressão linear múltipla com seleção "stepwise" conforme detalhado por Nunes et al. (2011b). A análise multivariada para estudar o efeito das covariáveis ambientais sobre a interação genótipos por ambientes foi realizada conforme descrito por Carvalho (2015). Todas as análises foram realizadas pelo software R (R CORE TEAM, 2020).

Para a análise REML/BLUP foi utilizado o seguinte modelo misto: $y = Xb + Zg + Wc + e$, em que y , b , g , c , e correspondem, respectivamente, aos vetores de dados, de efeitos fixos (médias de blocos através dos ambientes), de efeitos dos genótipos (aleatórios), de efeitos da interação genótipo x ambiente (aleatórios) e de erros aleatórios. Enquanto X , Z e W são as matrizes de incidência para b , e , e c , respectivamente. De posse dos efeitos obtidos via análise de deviance conjunta, os valores genotípicos preditos foram obtidos por $\mu + g_i$, em que μ é a média de todos os locais e g_i é o efeito genotípico livre da interação genótipo x ambiente. O critério para a seleção conjuntos genotípicos considerando simultaneamente a estabilidade e a adaptabilidade foi dado pela estatística Média Harmônica da Performance Relativa dos Valores Genotípicos (RESENDE, 2007). Para realizar essas análises foi utilizado o programa SELEGEN (RESENDE, 2016).

3 RESULTADOS

Verificou-se efeito significativo ($p < 0,05$) de híbrido, indicando efeito heterogeneidade entre os materiais genéticos para os dois caracteres avaliados (Tabela 6). Também se observou efeito da interação híbridos x ambientes ($G \times A$) em ambos os caracteres, evidenciando comportamento diferencial dos híbridos nos diferentes ambientes.

Concernente à contribuição dos componentes de variância, verificou-se, em sólidos solúveis, que a interação $G \times A$ teve maior participação na manifestação fenotípica em relação ao efeito de híbridos enquanto para o número de frutos ocorreu resultado oposto. Para os dois caracteres, o componente de variância associado ao erro experimental foi aquele que mais contribuiu para a variância fenotípica (Tabela 6).

Os coeficientes de variação foram 12,73% e 5,19% para o número de frutos por planta e sólidos solúveis, respectivamente (Tabela 6). A acurácia seletiva de seleção que mede a correlação entre os valores genotípicos preditos e observados foram 0,95 para o número de frutos por planta e 0,6 para sólidos solúveis.

Tabela 6. Análise de Deviance, estimativas de componentes de variância e parâmetros genéticos e fenotípicos para o número de frutos por planta e sólidos solúveis em híbridos de melão amarelo em oito ambientes do Agropolo Mossoró-Assu. Mossoró-RN, UFERSA, 2020.

Componente	Caráter	
	Número de frutos por planta	Sólidos solúveis (°Brix)
	Estimativa (χ^2)	
$\hat{\sigma}_g^2$	0,027** (35,35%)	0,125** (15,73%)
$\hat{\sigma}_{ga}^2$	0,007* (10,24%)	0,176** (22,15%)
$\hat{\sigma}_e^2$	0,041 (54,31%)	0,493 (62,12%)
CV(%)	12,73	5,19
As	0,95	0,86
r_g	0,76	0,41

$\hat{\sigma}_g^2$: componente de variância genotípica; $\hat{\sigma}_{ga}^2$: componente de variância da interação genótipos por ambientes; $\hat{\sigma}_e^2$: componente de variância residual; CV(%): coeficiente de variação; As: acurácia seletiva; r_g : correlação genotípica entre todos os ambientes.

As covariáveis ambientais em conjunto, explicaram à maior parte da interação G x A para o número de frutos por planta (>70%) e 43,99% para sólidos solúveis. Para ambas as características, as temperatura máxima e mínima foram aquelas que mais explicaram a interação G x A (Tabela 7).

Tabela 7. Contribuição de covariáveis ambientais para a interação genótipos por ambiente para o número de frutos por planta e sólidos solúveis avaliadas em híbridos de melão amarelo em oito ambientes do Agropolo Mossoró-Assu. Mossoró-RN, UFERSA, 2020.

Covariável	Contribuição (%) – Soma de Quadrados Tipo II	
	Número de frutos por planta	Sólidos solúveis (°Brix)
Temperatura máxima (°C)	21,41	11,43
Temperatura mínima (°C)	22,64	16,49
Umidade relativa (%)	14,59	8,44
Radiação solar (KJ/m ²)	13,81	7,62
Resíduo	27,55	56,01

As estimativas dos coeficientes de regressão linear dos híbridos obtidas na regressão fatorial da interação genótipos por ambientes para os dois caracteres avaliados em função de covariáveis ambientais estão na Figura 1. Para o número de frutos por planta, os híbridos foram avaliados em três grupos (Figura 6). A discriminação dos genótipos ocorreu em função das estimativas observadas nas duas temperaturas.

Com relação ao número de frutos por planta, o primeiro grupo foi formado pelos híbridos HA-09, HA-06, HA-07, HA-02, HA-01 e HA-08. Os referidos genótipos têm influência negativa da temperatura máxima e influência positiva da temperatura mínima (Figura 1A). O segundo grupo reuniu genótipos HA-11, HA-10, HA-03 e Goldex que sofrem influência positiva da temperatura máxima e negativa da temperatura mínima. O terceiro grupo alocou os genótipos HA-12, HA-04 e HA-05 com comportamento semelhante àqueles do segundo grupo. A diferença está na maior amplitude das estimativas dos coeficientes de regressão dos híbridos observadas nas duas temperaturas. No terceiro grupo, a amplitude é maior (Figura 6A).

Concernente aos sólidos solúveis, também se observou a formação de três grupos de híbridos. O primeiro grupo foi composto pelos híbridos HA-05, HA-02 e Goldex. Nestes híbridos o efeito da temperatura máxima foi no sentido de reduzir o caráter enquanto a temperatura mínima promoveu o aumento do caráter (Figura 6B). O segundo grupo, formado pelos híbridos HA-09, HA-06 e HA-08, possuem comportamento oposto àqueles do primeiro grupo. Os híbridos do terceiro grupo diferiram pouco com relação às estimativas dos coeficientes de regressão para todas as covariáveis ambientais.

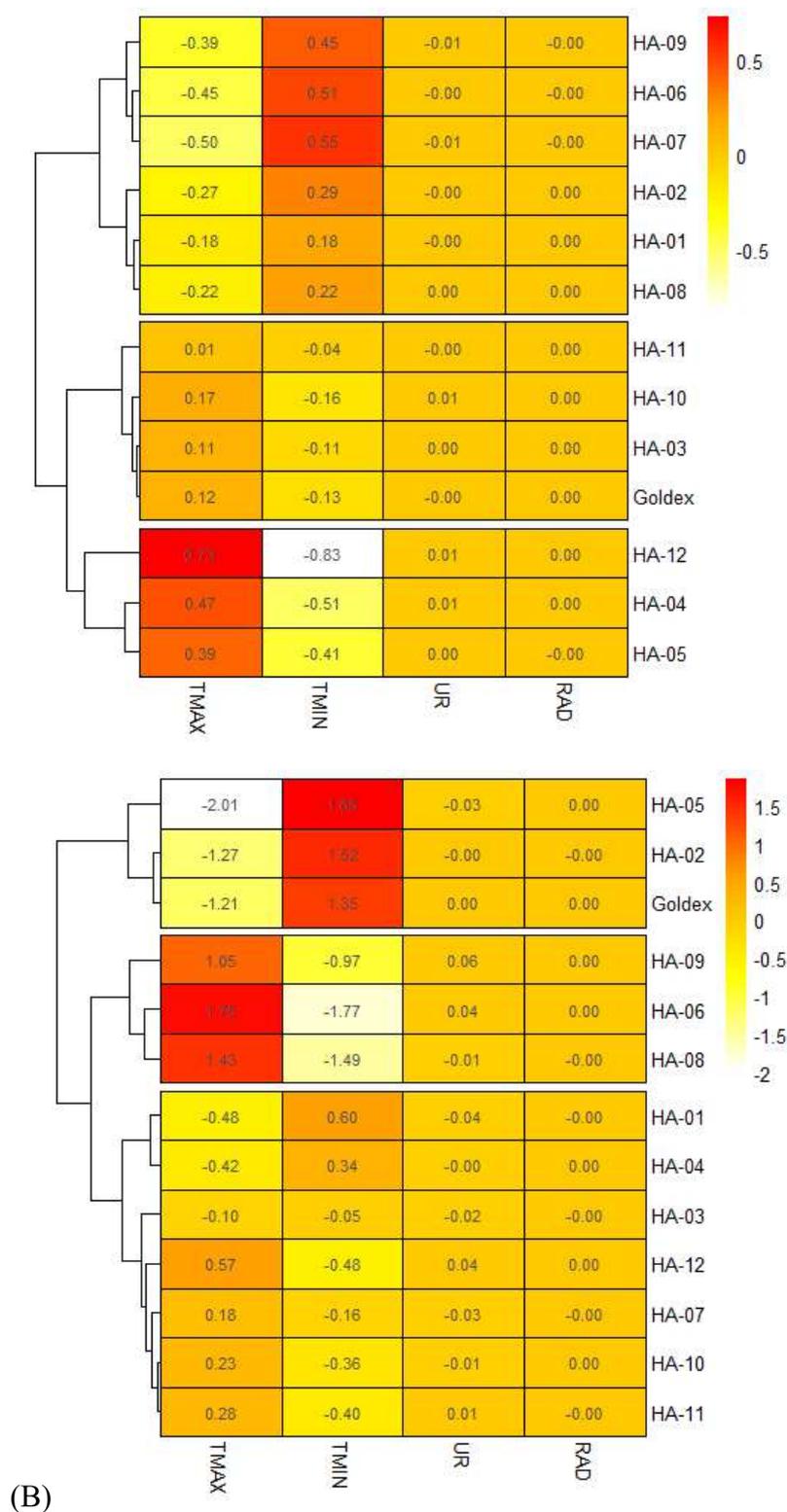


Figura 6. Heatmap com as estimativas do coeficiente de regressão linear de híbridos de melão amarelo obtidas em regressão fatorial da interação genótipos por ambientes para o número de frutos por planta (A) e sólidos solúveis (B) em função de covariáveis ambientais medidas em oito ambientes do Agropolo Mossoró-Assu. Mossoró-RN, UFERSA, 2020. T_{MAX}: temperatura máxima (°C); T_{MIN}: temperatura mínima (°C), UR: umidade relativa (%); RAD: radiação solar (KJ/m²).

Após a decomposição por valores singulares (DVS) da matriz das correlações entre os BLUPS das interações e dos valores das covariáveis em cada um dos ambientes, verificou-se para o número de frutos por planta que os dois primeiros componentes principais explicaram 84,4% da variação (Figura 7A). Para sólidos solúveis, os dois primeiros componentes principais explicaram conjuntamente 97,3% (Figura 7B). Nesta situação, para ambos os caracteres, é necessário um gráfico bidimensional para explicar a interação G x A.

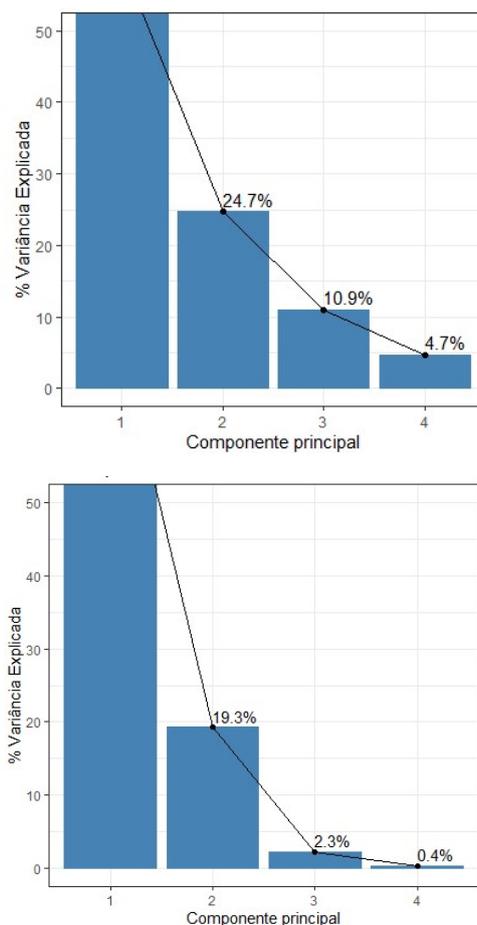


Figura 7. Contribuição dos componentes principais para a variação total na interação genótipos por ambiente para o número de frutos por planta (A) e sólidos solúveis (B) avaliadas em híbridos de melão amarelo em oito ambientes do Agropolo Mossoró-Assu. Mossoró-RN, UFERSA, 2020.

Para o número de frutos por planta, as covariáveis de maiores peso no primeiro componente principal foi explicado pela radiação solar, temperatura mínima e umidade relativa (Figura 8A). O referido componente principal pode ser explicado como um contraste entre os efeitos positivos da temperatura mínima e radiação solar e os efeitos negativos das covariáveis temperatura máxima e umidade relativa. A temperatura máxima foi a covariável que mais contribuiu para o segundo componente que pode ser

entendido como a soma dos efeitos positivos da temperatura máxima e radiação solar (Figura 8B).

Para sólidos solúveis, no primeiro componente principal, as variáveis de maior peso foram radiação solar, temperatura mínima e radiação solar (Figura 3C). O componente principal é o contraste entre os efeitos positivos da radiação solar e temperatura mínima e os efeitos negativos da temperatura máxima e umidade relativa. No segundo componente principal, as covariáveis de maior foram a temperatura máxima e a radiação solar. O componente pode ser explicado como pela soma dos efeitos positivos das referidas covariáveis (Figura 8D).

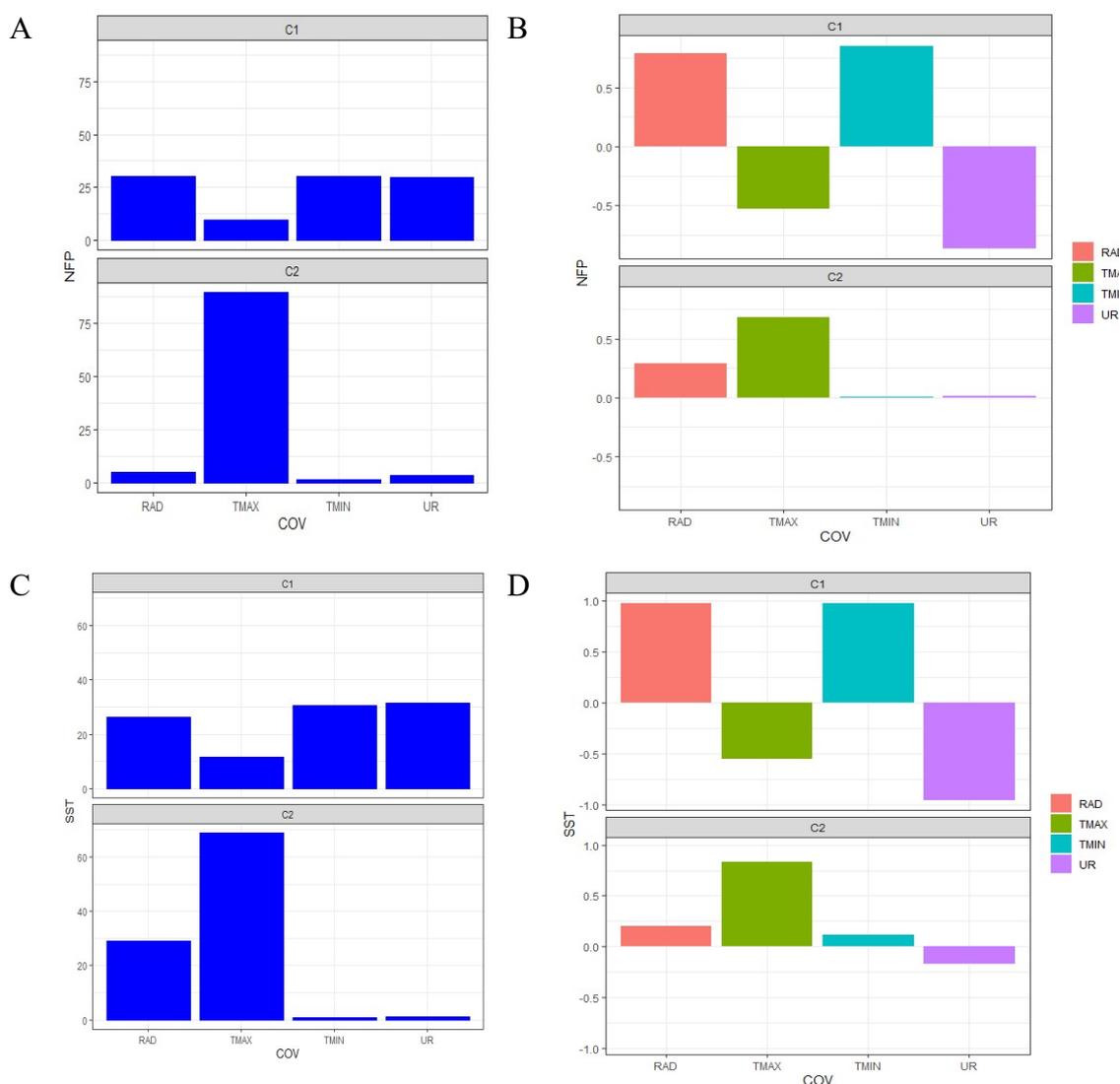


Figura 8. Contribuição dos componentes principais para a variação total na interação genótipos por ambiente para o número de frutos por planta (A, B) e sólidos solúveis (C,D) em híbridos de melão amarelo em oito ambientes do Agropolo Mossoró-Assu. Mossoró-RN, UFERSA, 2020. T_{MAX}: temperatura máxima (°C); T_{MIN}: temperatura mínima (°C), UR: umidade relativa (%); RAD: radiação solar (KJ/m²)

Na Figura 9A, o cosseno do ângulo entre os vetores de duas covariáveis ambientais quaisquer mede a associação entre elas em função do seu efeito sobre a interação G x A. Assim sendo, para o número de frutos por planta, a temperatura máxima e a radiação solar com ângulo reto (90°) são não correlacionadas. As covariáveis radiação solar e temperatura mínima são positivamente correlacionados ($<90^\circ$) entre si mas possuem correlação negativa com a umidade relativa ($>90^\circ$). A temperatura máxima e a umidade relativa se associam positivamente ($<90^\circ$).

Para sólidos solúveis, há uma forte associação positiva entre a temperatura mínima e a radiação solar (Figura 9B). Essas duas covariáveis se correlacionam negativamente com temperatura máxima e umidade relativa que, por sua vez, possuem uma reduzida associação positiva.

Também é possível visualizar o padrão de agrupamentos dos híbridos em relação à distribuição e influências das covariáveis ambientais (Figura 9). Relativo ao número de frutos por planta, observou-se a formação de dois grupos de híbridos. Os híbridos HA-03, HA-02, HA-07, HA-05, HA-04 e HA-06 tem a influência positiva da temperatura máxima e da umidade relativa e negativa da temperatura mínima e radiação solar (Figura 9A). Por outro lado, demais os híbridos possuem comportamento contrário, isto é, influência negativa da temperatura máxima e da umidade relativa e positiva da temperatura mínima e radiação solar. Os híbridos Goldex e HA-11 apresentaram comportamento distinto dos demais. O primeiro sofreu influência positiva da radiação solar e temperatura máxima enquanto HA-11 teve comportamento oposto ao Goldex (Figura 9A).

Para sólidos solúveis, também se formaram dois grupos de híbridos (Figura 9B). O primeiro grupo de híbridos teve a influência positiva da temperatura máxima e umidade relativa e negativa da temperatura mínima e radiação solar. Os híbridos com essas características foram HA-07, HA-12, HA-08, Goldex, HA-09 e HA-10. Os demais híbridos apresentaram comportamento oposto. O híbrido HA-11 sofreu influência negativa das temperaturas máxima e mínima, bem como, radiação solar. Mas influência positiva da umidade relativa (Figura 9B).

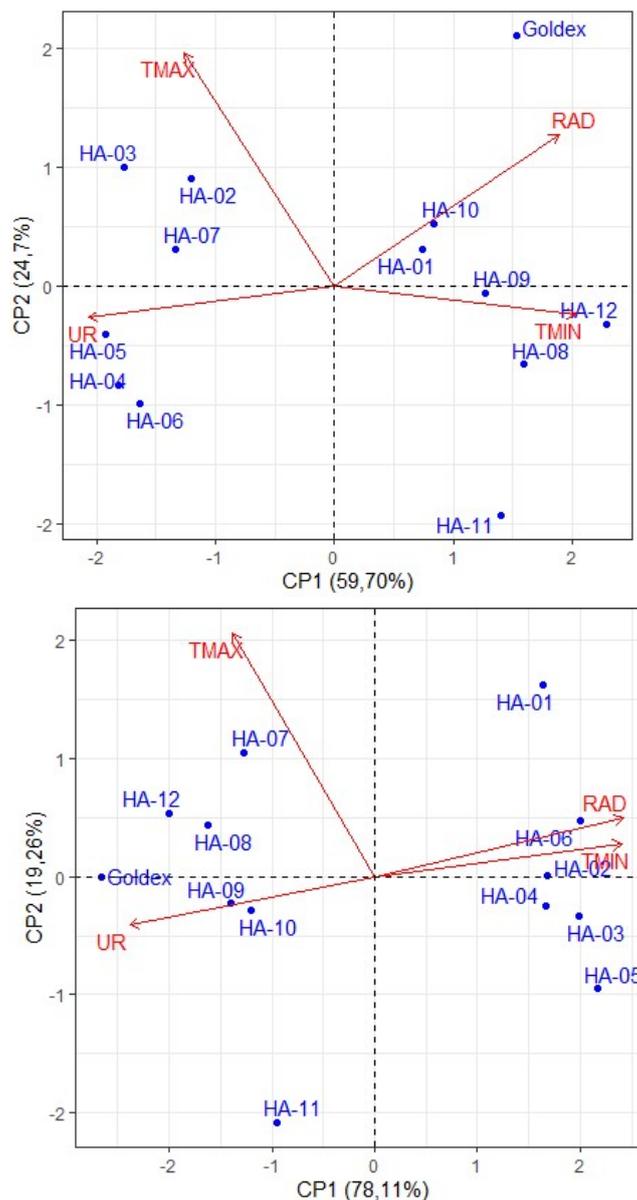


Figura 9. Contribuição dos componentes principais para a variação total na interação genótipos por ambiente para o número de frutos por planta (A) e sólidos solúveis (B) avaliados em híbridos de melão amarelo em oito ambientes do Agropolo Mossoró-Assu. Mossoró-RN, UFERSA, 2020. T_{MAX}: temperatura máxima (°C); T_{MIN}: temperatura mínima (°C), UR: umidade relativa (%); RAD: radiação solar (KJ/m²).

A adaptabilidade e estabilidade dos genótipos foi medida pelo método da média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos (MHPRVG). Considerando os dois caracteres ao mesmo tempo, foram formados quatro quadrantes (Figura 5). No sentido horário, no primeiro quadrante, apenas híbrido HA-08 com valores de MHPRVG acima do valor média em ambos os caracteres. No quadrante dois estão os genótipos com MHPRVG superior à média para número médio dos frutos inferiores para sólidos solúveis. Cinco híbridos estão nesse grupo, quais sejam, HA-02, HA-05, HA-10, HA-06

e HA-09. Os híbridos com os menores valores para ambas as variáveis foram HA-01, HA-11 e HA-12 estão no terceiro quadrante. Por fim, os híbridos HA-03, HA-07, Goldex e HA-04 no quarto quadrante possuem MHPRVG acima da média para sólidos solúveis e abaixo para número de frutos por planta.

4 DISCUSSÃO

Ensaio multiambientes são realizados com o intuito de recomendar os cultivares mais promissores para uma determinada região de cultivo. Geralmente nesses tipos de ensaios estão envolvidos genótipos com alta performance de produção cuidadosamente selecionados pelos pesquisadores. Em razão disso, é de se esperar pequenas diferenças que precisam ser detectadas. Assim sendo, o desafio é conduzir os ensaios com alta precisão experimental. A precisão experimental é tradicionalmente mensurada pelo coeficiente de variação residual (CV_E). No presente estudo, as estimativas obtidas estão dentro da faixa observada em ensaios de avaliação de cultivares de melão no Agropolo Mossoró-Assu (NUNES et al., 2006; NUNES et al., 2011b; SILVA et al., 2011; GUIMARÃES et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2019).

Além disso, a acurácia seletiva (A_S) tem sido empregada para avaliar a qualidade de experimentos de avaliação de genótipos. A acurácia mede a correlação entre o valor genotípico predito e o valor observado (RESENDE, 2007). As acurácias deste estudo são classificadas como altas (RESENDE; DUARTE, 2007). Com efeito, considerando as duas medidas, CV_E e A_S , podem ser considerados de precisão elevada.

A variabilidade genotípica foi constatada para ambos os caracteres e reflete os diferentes backgrounds genéticos dos materiais avaliados. Na maior parte dos ensaios multiambientes em meloeiro são comuns os relatos evidenciando diferenças entre genótipos tanto para produtividade e sólidos solúveis (NUNES et al., 2006; SILVA et al., 2011; ARAGÃO et al., 2015; GUIMARÃES et al., 2016; SILVA et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2019).

A presença da interação $G \times A$ indica resposta diferencial dos genótipos nas diversas condições ambientais. Esse fato é comum nas avaliações de genótipos em vários ambientes em meloeiro para a produtividade e sólidos solúveis (NUNES et al., 2006; NUNES et al., 2011a,b; SILVA et al., 2011; ARAGÃO et al., 2015; GUIMARÃES et al., 2016; SILVA et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2019). A interação $G \times A$ presente neste estudo é devida principalmente à parte simples para o número médio de frutos e à parte

complexa para sólidos solúveis. A predominância da interação cruzada ocorre devido a reduzida correlação genotípica (r_g). A consequência é a alternância dos ordenamentos dos genótipos nos quatro ensaios, dificultando o processo de recomendação de cultivares (CRUZ; CASTOLDI, 1991; OLIVOTO et al., 2019). Na maioria dos trabalhos de avaliação de cultivares têm relatado a presença da predominância da parte qualitativa ou cruzada da interação G x A em relação à parte simples para a produtividade e sólidos solúveis (NUNES et al., 2011a,b; SILVA et al., 2011; ARAGÃO et al., 2015; GUIMARÃES et al., 2016; SILVA et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2019).

Neste trabalho, quatro covariáveis climáticas foram medidas nos oito ambientes de avaliação. O conhecimento das causas e natureza da interação G x A tem sido uma preocupação por parte dos pesquisadores. Van Eeuwijk et al. (1996) sugeriu o uso de covariáveis ambientais em regressão fatorial para explicar a interação genótipos por ambientes. No presente trabalho, observou-se que as temperatura máxima e mínima foram as covariáveis que mais contribuíram para a interação G x A conforme a análise de regressão fatorial (Tabela 3). Nunes et al. (2011b) avaliando híbridos de melão cantaloupe em condições de semiárido potiguar, verificaram que as temperaturas mínima, média e máxima explicaram 39, 35 e 33% da interação G x A. Em trabalho realizado com o milho (LIU et al., 2013) se observou efeito da temperatura, pluviosidade e radiação solar. Em cana de açúcar, foi verificado que as covariáveis sazonais temperatura e estresse hídrico foram as mais importante para o rendimento de colmos (RABURAM et al., 2013). Cada espécie tem uma determinada resposta frente ao ambiente no qual está inserida. Em adição, mesmo dentro da espécie, há distinção entre cultivares que respondem de forma distinta aos estímulos causados por diferentes covariáveis ambientais. Em razão disso, e da própria variação ambiental, são esperados resultados diferentes entre manuscritos publicados na literatura.

A regressão fatorial permite também a estimação da sensibilidade de cada genótipo a cada uma das covariáveis ambientais. A sensibilidade genotípica, medida pelo coeficiente de regressão fatorial, expressa, de forma positiva ou negativa, a alteração no número de frutos por planta e sólidos solúveis à mudança de uma unidade nas covariáveis avaliadas.

O efeito particular de cada uma das covariáveis ambientais sobre cada híbrido pode ser verificado pela magnitude e sinal do coeficiente de regressão fatorial do genótipo. Verificou-se que os genótipos possuíam respostas diferentes, mesmo que em magnitudes diferentes (Figura 1), como era esperado em razão da intensidade da interação

G x A. Avaliando híbridos de melão Cantaloupe, Nunes et al. (2011b) verificaram elevadas sensibilidades dos genótipos aos efeitos das temperaturas média e máxima.

Embora útil e muito utilizada na literatura, a regressão fatorial utiliza somente os coeficientes de regressão como medida de sensibilidade dos genótipos frente aos efeitos ambientais (HESLOT et al., 2014). Abordagens que tratem o efeito de genótipo como aleatório e o uso de análise multivariada pode ser úteis em análises sobre a influência de covariáveis ambientais sobre a interação.

Neste trabalho, todas as covariáveis estudadas contribuíram em diferentes intensidades para a interação G x A. As variáveis temperatura mínima, umidade relativa e radiação solar foram aquelas de maior contribuição no primeiro componente principal enquanto a temperatura máxima no segundo componente, segundo de maior variação. Utilizando a mesma metodologia, Carvalho (2015) concluíram que as variáveis sazonais temperatura média, umidade relativa, insolação total, número de dias de precipitação e total de precipitação foram as que mais influenciaram o desempenho a produtividade de genótipos de feijão caupi. Segundo o mesmo autor, a diferença de comportamento dos genótipos pode ser atribuída aos fatores geográficos como latitude e longitude. Ressalta-se que no referido estudo foram contemplados mais ambientes com maior variação edafoclimáticas e de localização geográfica.

Com relação às respostas dos genótipos a cada uma das covariáveis ambientais, observou-se variabilidade com grupos de genótipos com sensibilidades diferentes (Figura 10). Pela variação de respostas dos cultivares frente as quatro covariáveis estudadas, percebe-se que as causas da interação G x A deve ser atribuídas a fatores fisiológicos e bioquímicos próprios de cada genótipo avaliado. Considerando que os genótipos se desenvolvem em sistemas dinâmicos, em que ocorrem constantes mudanças, desde a semeadura até a colheita, há geralmente um comportamento diferenciado destes em termos de respostas às variações ambientais. Esse fato foi verificado pelas diferentes sensibilidades dos genótipos em relação às covariáveis ambientais ao se utilizar as duas metodologias (Figuras 6 e 9). Ressalta-se que a resposta de cada genótipo associado com o efeito da interação G x A, quando associados aos efeitos das covariáveis ambientais, permitiu a discriminação genotípica e auxiliou no entendimento parcial das causas do comportamento diferencial dos híbridos avaliados nos oito ambientes.

Por outro lado, não é suficiente apenas entender as causas da interação G x A. É imprescindível a identificação de genótipos com adaptabilidade estabilidade para os dois caracteres estudados. Utilizando a estatística MHPRVG foi possível classificar quatro

grupos de genótipos. Todavia, o híbrido de maior destaque foi HA-08 (Figura 10). Esse híbrido possui desempenho superior à média para os dois caracteres avaliados, sendo, portanto, o mais promissor do grupo avaliado.

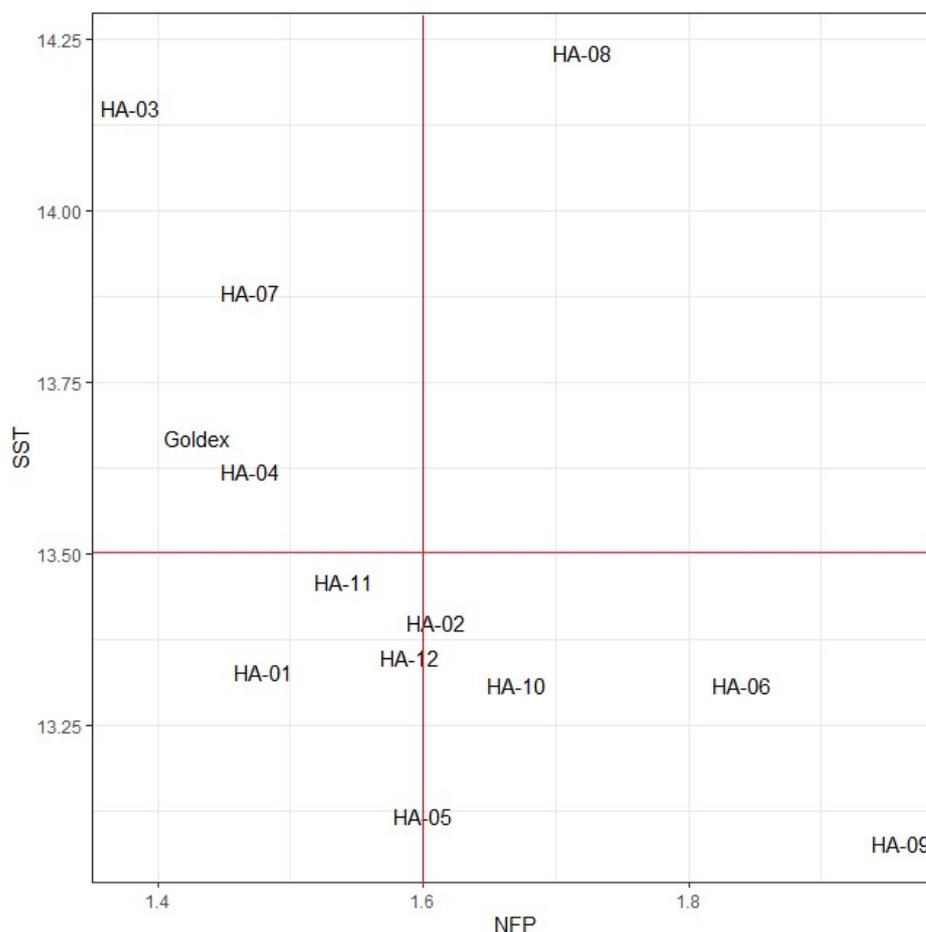


Figura 10. Distribuição dos valores MHPRVG do número de frutos por planta e sólidos solúveis avaliados em híbridos de melão amarelo em oito ambientes do Agropolo Mossoró-Assú. Mossoró-RN, UFERSA, 2020.

5 CONCLUSÕES

- a) O modelo covariável-biplot é útil para relacionar fatores ambientais importantes e indicar a sua influência relativa sobre o número de frutos por planta e sólidos solúveis;
- b) As variáveis temperatura mínima, umidade relativa e radiação solar são aquelas de maior contribuição para a interação híbridos por ambientes;

c) Os híbridos diferem quanto à sensibilidade frente às covariáveis ambientais, sendo divididos em um grupo que tem influência positiva da temperatura máxima e umidade relativa e influência negativa da temperatura mínima e radiação solar; e outro com comportamento oposto tanto para o número de frutos por planta e sólidos solúveis;

d) O híbrido HA-08 é o mais estável e adaptado para o número de frutos por planta e sólidos solúveis.

REFERÊNCIAS

ALLARD, R. W.; BRADSHAW, A. D. Implications of genotype-environment interactions in applied plant breeding. *Crop Science*, Madison, v. 4, n. 5, p. 503-508, 1964.

ARAGÃO, F.A.S.; NUNES, G.H.S.; QUEIROZ, M.A. Genotype x environment interaction of melon families based on fruit quality traits. ***Crop Breeding Applied Biotechnology***, v.15, n.2, p.79-86, 2015.

BRANCOURT-HULMEL, M.; LECOMTE, C. Effect of environmental varieties of genotype x environment interaction of winter wheat: A comparison of biadditive factorial regression to AMMI. ***Crop Science***, v. 43, n. 2, p. 608-617, 2003.

CARVALHO, L.C.B. **Interpretação da interação genótipos x ambientes em feijão-caupi usando modelos multivariados, mistos e covariáveis ambientais**. Tese - Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2015.

CRUZ, C. D.; CASTOLDI, F. L. Decomposição da interação genótipos ambientes em partes simples e complexa. ***Revista Ceres***, v. 38, n. 219, p. 422-430, 1991.

GAUCH, H. G. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. ***Crop Science***, v. 46, n. 03, p. 1488-1500, 2006.

GUIMARÃES, I.P.; DOVALE, J.C.; ANTONIO, R.P.; ARAGÃO, F.A.S.; NUNES, G.H.S. Interference of genotype-by-environment interaction in the selection of inbred lines of yellow melon in an agricultural center in Mossoró-Assu, Brazil. *Acta Scientiarum, Agronomy*, v.38, p.51-59, 2016.

HESLOT, N.; AKDEMIR, D.; SORRELLS, M. E.; JANNINK, J. L. Integrating environmental covariates and crop modeling into the genomic selection framework to predict genotype by environment interactions. ***Theoretical and Applied Genetics***, v. 127, n. 2, p. 463-480, 2014.

LIU, Y.; HOU, P.; XIE, R.; LI, S.; ZHANG, H.; MING, B.; LIANG, S. Spatial Adaptabilities of Spring Maize to Variation of Climatic Conditions. **Crop Science**, v. 53, n. 4, p. 1693-1703, 2013.

MACKAY, T. F. C. Q&A: Genetic analysis of quantitative traits. *Journal of Biology*, v. 8, n. 23, p. 1-5, 2010.

MALOSETTI, M.; BUSTOS-KORTS, D.; BOER, M. P.; VAN EEUWIJK, F. A. Predicting responses in multiple environments: Issues in relation to genotype · environment interactions. **Crop Science**, v. 56, n. 5, p. 2210-2222, 2016.

NUNES, G.H.S.; MADEIROS, A.E.S.; GRANGEIRO, L.C.; SANTOS, G.M.; SALES JUNIOR, R. Estabilidade fenotípica de híbridos de melão amarelo avaliados no Pólo Agroindustrial Mossoró-Assu. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, n.9, p.57-67, 2006.

NUNES, G.H.S.; SANTOS JÚNIOR, H.; GRANGEIRO, L.C.; BEZERRA NETO, F.; DIAS, C.T.S.; DANTAS, M.S.M. Phenotypic stability of hybrids of Gália melon. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** 83: 1421-1433, 2011a.

NUNES, G. H. N.; ANDRADE NETO, R. C.; COSTA FILHO, J. H.; MELO, S. B. Influência de variáveis ambientais sobre a interação genótipos x ambientes em meloeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 4, p. 1194-1199, 2011.

NUNES, G.H.S.; ARAGAO, F.A.S.; NUNES, E. W.L.P.; COSTA, J.M.; RICARTE, A.O. **Melhoramento de Melão**. In: CARLOS NICK; ALUÍZIO BORÉM. (Org.). **Melhoramento de hortaliças**. 1^{ed}.Viçosa: Editora UFV, 2016, v. 1, p. 331-363.

OLIVEIRA, A. B.; DUARTE, J. B.; CHAVES, L. J.; COUTO, M. A. Environmental and genotypic factors associated with genotype by environment interactions in soybean. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 6, n. 1, p. 79-86, 2006.

OLIVEIRA, L.A.A.; CARDOSO, E.A.C.; RICARTE, A.O.; MARTINS, A.F.; COSTA, J.M.; NUNES, G.H.S. Stability, adaptability and shelf life of Cantaloupe melon hybrids. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 41, n. 5, p. 1-11, 2019.

OLIVOTO, T.; LÚCIO, A. D. C.; SILVA, J. A. G.; SARI, B. G.; DIEL, M. I. Mean performance and stability in multi-environment trials II: selection based on multiple traits. **Agronomy Journal**, v. 111, n. 6, p. 2961-2969, 2019.

R CORE TEAM (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<http://www.r-project.org>>. Acesso em: 20 jan. 2020.

RAMBURAN, S. A.; ZHOU, M. A.; LABUSCHAGNE, M. Interpretation of genotype x environment interactions of sugarcane: Identifying significant environmental factors. **Field Crops Research**, v. 124, n. 3, p. 392-399, 2011.

RAMASAMY, P.; SUBBARAMAN, N.; VENKATACHALAM, R.; SOUNDRAPADIAN, G. Contribution of weather variables to G x E interaction in finger millet genotypes. *Internacional Sorghum and Millets Newsletter*, v. 37, n. 1, p. 79-81, 1996.

RESENDE, M. D. V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Embrapa Florestas, Colombo. 2007, 435 p.

RESENDE, M. D. V. Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 16, n. 4, p. 330-339, 2016.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 3, p. 182-194, 2007.

SAEED, M.; FRANCIS, C. A. Association of weather variables with genotype x environment interactions in grain sorghum. **Crop Science**, v. 24, n. 1, p. 13-16, 1984.

SILVA, E.M.; NUNES, E.W.L.P; COSTA, J.M.; RICARTE, A.O.; NUNES, G.H.S.; ARAGÃO, F.A.S. Genotype x environment interaction, adaptability and stability of 'Piel de Sapo' melon hybrids through mixed models. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 19, n.4, p. 402-411, 2019.

SILVA, J.M.; NUNES, G.H.S.; COSTA, G.G.; ARAGÃO, F.A.S.; MAIA, L.K.R. Implicações da interação genótipos x ambientes sobre ganhos com a seleção em meloeiro. **Ciência Rural**, v.41, n.1, p.51-56, 2011.

VAN EEUWIJK, F. A.; DENIS, J. B.; KANG, M. S. Incorporating additional information on genotypes and environments in models for two-way genotype by environment tables. In 'Genotype-by-environment interaction'. (Eds MS Kang, HG Gauch, I Goldringer) pp. 15-50. (CRC Press: Boca Raton, FL), 1996.

VOLTAS, J.; LÓPES-CÓRCOLES, H.; BORRÁS, G. Use of biplot analysis and factorial regression for the investigation of superior genotypes in multi-environment trails. **European Journal of Agronomy**, v. 22, n. 3, p. 309-324, 2005.

ANEXO A

**Baraúna - EP1 x AM01****Baraúna – EP2 x AM05****Assú – EP1 X AM2****Assú – EP2 X AM8****Mossoró – EP1 x AM3****Mossoró – EP2 x AM7****Apodi – EP1 x AM4****Apodi – EP2 x AM6**

ANEXO B**HA - 08**

Fonte: Galdino, 2018