

Aplicação de modelos mistos no estudo da adaptabilidade e estabilidade de cultivares de morangueiro de dia curto e dia neutro

Application of mixed models in the study of the adaptability and stability of short-day and neutral-day strawberry cultivars

Aplicación de modelos mixtos para estudiar la adaptabilidad y estabilidad de los cultivares de fresa de día corto y neutro

Recebido: 20/03/2020 | Revisado: 20/03/2020 | Aceito: 30/03/2020 | Publicado: 31/03/2020

Juliano Tadeu Vilela de Resende

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5226-7813>

Universidade Estadual de Londrina, Brasil

E-mail: jvresende@uel.br

André Gabriel

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1456-597X>

Universidade Federal de Lavras, Brasil

E-mail: andre.gb85@hotmail.com

Aline Fabiana Paladini Moreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8199-0231>

Universidade Estadual de Londrina, Brasil

E-mail: fabianapaladini@gmail.com

Leandro Simões Azeredo Gonçalves

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9700-9375>

Universidade Estadual de Londrina, Brasil

Email: leandrosag@uel.br

Nathalia Campos Vilela Resende

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7825-3070>

Universidade Federal de Viçosa, Brasil

Email: nathcvr@gmail.com

Cleber Daniel Maciel de Goes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3222-2946>

Universidade Estadual do Centro-Oeste

Email: macielconsultoria@hotmail.com

Daniel Suek Zanin

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6453-3207>

Universidade Estadual de Londrina, Brasil

Email: dsuekzanin@gmail.com

Resumo

No morangueiro os elementos ambientais afetam características de produtividade e qualidade físico-químicas dos frutos, quando avaliados em diferentes ambientes. Para atenuar os efeitos da interação genótipo x ambiente é necessário a predição da adaptabilidade e estabilidade para identificação de cultivares com desempenhos previsíveis entre os ambientes. Nesse contexto, objetivou-se estimar a adaptabilidade e estabilidade de cultivares de morangueiro por meio de procedimento REML/BLUP. Os experimentos foram conduzidos em ambientes distintos em aspectos edafoclimáticos, com 13 cultivares de morangueiro em delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições. Por serem características de origem quantitativa, o número de frutos comerciais (NFC) e massa de frutos comerciais (MFC) apresentaram baixa h^2_{mg} , as demais características apresentaram valores de moderada e alta magnitudes para h^2_{mg} (0,50 a 0,95). Foram verificadas alterações no ordenamento das cultivares entre os ambientes, reflexo da correlação genotípica entre os ambientes, que variaram entre as características. As cultivares de destaque no ordenamento por meio dos valores genotípicos também foram destaques pelo método MHPRVG. As cultivares Albion, Camarosa e Camino Real foram as melhores para a maioria das características pelo método MHPRVG, o que revela boa adaptabilidade e estabilidade dessas cultivares em relação aos ambientes avaliados. A metodologia de modelos mistos foi eficiente para seleção das cultivares superiores nos ambientes avaliados. Das cultivares testadas Albion, Camarosa e Camino Real foram as que apresentaram maior adaptabilidade e estabilidade pelo método MHPRVG para os ambientes em estudo.

Palavras-chave: *Fragaria x ananassa* Duch; Interação genótipo x ambiente; REML/BLUP; MHPRVG.

Abstract

In strawberry the environmental elements affect the characteristics of productivity and physico-chemical quality of the fruits, when evaluated in different environments. To mitigate the effects of genotype x environment interaction, it is necessary to predict adaptability and stability to identify cultivars with predictable performances between environments. In this

context, the objective was to estimate the adaptability and stability of strawberry cultivars using the REML / BLUP procedure. The experiments were carried out in different environments in edaphoclimatic aspects, with 13 strawberry cultivars in a randomized block design, with four replications. As they are characteristics of quantitative origin, the number of commercial fruits (NFC) and mass of commercial fruits (MFC) presented low h²mg, the other characteristics presented values of moderate and high magnitudes for h²mg (0.50 to 0.95). There were changes in the cultivar ordering between environments, reflecting the genotypic correlation between environments, which varied between characteristics. The cultivars highlighted in the ordering through genotypic values were also highlighted by the MHPRVG method. The cultivars Albion, Camarosa and Camino Real were the best for most traits by the MHPRVG method, which reveals good adaptability and stability of these cultivars in relation to the evaluated environments. The mixed model methodology was efficient for selecting superior cultivars in the evaluated environments. Of the tested cultivars Albion, Camarosa and Camino Real were the ones that showed greater adaptability and stability by the MHPRVG method for the environments under study.

Keywords: *Fragaria x ananassa* Duch, Genotype x environment; Interaction; REML / BLUP; MHPRVG.

Resumen

En fresa, los elementos ambientales afectan las características de productividad y calidad fisicoquímica de las frutas, cuando se evalúan en diferentes ambientes. Para mitigar los efectos de la interacción genotipo x ambiente, es necesario predecir la adaptabilidad y la estabilidad para identificar cultivares con rendimientos predecibles entre ambientes. En este contexto, el objetivo era estimar la adaptabilidad y la estabilidad de los cultivares de fresa utilizando el procedimiento REML / BLUP. Los experimentos se llevaron a cabo en diferentes entornos en aspectos edafoclimáticos, con 13 cultivares de fresa en un diseño de bloques al azar, con cuatro repeticiones. Debido a que son características de origen cuantitativo, el número de frutas comerciales (NFC) y la masa de frutas comerciales (MFC) presentaron bajos niveles de h²mg, las otras características presentaron valores de magnitudes moderadas y altas para h²mg (0.50 a 0.95). Hubo cambios en el orden de los cultivares entre ambientes, lo que refleja la correlación genotípica entre ambientes, que variaba entre las características. Los cultivares resaltados en la ordenación a través de valores genotípicos también fueron resaltados por el método MHPRVG. Los cultivares Albion, Camarosa y Camino Real fueron los mejores para la mayoría de los rasgos por el método MHPRVG, que

revela una buena adaptabilidad y estabilidad de estos cultivares en relación con los entornos evaluados. La metodología del modelo mixto fue eficiente para seleccionar cultivares superiores en los entornos evaluados. De los cultivares probados, Albion, Camarosa y Camino Real fueron los que mostraron una mayor adaptabilidad y estabilidad por el método MHPRVG para los ambientes en estudio.

Palabras clave: *Fragaria x ananassa* Duch; Interacción genotipo x ambiente; REML / BLUP; MHPRVG.

1. Introdução

Produzido em mais de 70 países (FAOSTAT, 2019), o morango é a pequena fruta mais cultivada e consumida no Mundo (Bilbao-Sainz et al., 2019; Niziol et al., 2019), tanto *in natura* quanto na forma de processados. A cultura do morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch.) é altamente valorizada, pois proporciona bom retorno financeiro em curto prazo (Pešaković et al., 2013) e apresenta importante papel socioeconômico no setor agrícola, visto que proporciona aumento de renda em pequenas propriedades e contribui para a fixação de trabalhadores rurais no campo (Kathum et al., 2019). É cultivado em ampla distribuição geográfica no Mundo (Patil et al., 2016) e em vários sistemas de cultivo (Claire et al., 2018). No entanto, essa diversidade de ambientes contribui para a ocorrência de interação genótipo x ambiente (GxA) (Mathey et al., 2017), que dificulta a indicação de cultivares para determinados locais de cultivo.

Além de afetar o desenvolvimento das plantas de morangueiro e a produtividade, a interação GxA também interfere nas características físico-química dos frutos (Samykanno et al., 2013), pois influencia na síntese e acúmulo de determinados compostos secundários, que acarretam na mudança da qualidade dos morangos cultivados em diferentes ambientes (Cocco et al., 2015; Palmieri et al., 2017).

Para minimizar o efeito da interação GxA é necessário estudos que utilizem de análises de adaptabilidade e estabilidade, possibilitando a identificação de cultivares com comportamento previsível em relação às características de produção e físico-químicas em várias condições ambientais (Mathey et al., 2017). Para isso, diversas metodologias podem ser aplicadas, as quais diferenciam-se quanto aos parâmetros utilizados ou na análise estatística.

Para os modelos mistos, pode ser aplicado o método da média harmônica da performance relativa dos valores genéticos preditos (MHPRVG) (Resende, 2004). Essa metodologia considera os efeitos genotípicos como aleatórios e, portanto, fornece estimativas

de estabilidade e adaptabilidade genótípicas e não fenotípicas; permite lidar com dados desbalanceados; delineamentos não ortogonais; heterogeneidade de variâncias. Além disso, fornece os valores genéticos já descontados (penalizados) do efeito ambiental e pode ser aplicado com qualquer número de ambientes. Finalmente, gera resultados na própria unidade ou escala do caráter avaliado, que podem ser interpretados diretamente como valores genéticos (Resende, 2007).

Estudos de estabilidade na cultura do morangueiro por meio de modelos mistos têm sido realizados com pouca frequência no Mundo (Whitaker et al., 2012). Sendo assim, o objetivou-se estimar a adaptabilidade e estabilidade de cultivares de morangueiro pelo método MHPRVG, baseando-se em características de produção e físico-químicas de pós-colheita.

2. Metodologia

A presente pesquisa foi desenvolvida nas áreas experimentais de horticultura das instituições: Universidade Estadual do Centro-Oeste (Environment 1 - 25°23'01"S, 51°29'37" O, altitude 1.025 m); Universidade Federal de Lavras (Environment 2 - 21°14'06" S, 45°00'00" O, altitude 918 m); e na Universidade Federal de Uberlândia (Environment 3 - 18°54' 58" S, 48°15'28" O, altitude 843 m). As análises de pós-colheita foram realizadas no laboratório de Fisiologia Vegetal e Horticultura da Universidade Estadual do Centro-Oeste. A pesquisa é de caráter exploratória, quantitativa (Pereira et al., 2018) foi em parte desenvolvida no campo no período de maio a novembro de 2016. As análises laboratoriais foram realizadas no período de novembro de 2016 a janeiro de 2017.

Os climas dos ambientes de cultivo são assim definidos: a) Environment 1 - subtropical úmido mesotérmico (Cfb, de acordo com a classificação de Köppen), com temperatura média anual de 17°C e pluviosidade anual de 1.944 mm (Wrege, 2012); b) Environment 2 – tropical de altitude (Cwa), temperatura média anual de 20,4°C e pluviosidade anual de 1.460 mm (Dantas et al., 2007); c) Environment 3 – tropical (Aw), temperatura média anual de 22,5°C e precipitação média anual de 1.555,7 mm (Silva, 2013).

Os tipos de solo dos locais de estudo são classificados como segue: a) Environment 1 - Latossolo Bruno Distroférico típico (Bhering et al., 2020); b) Environment 2 - Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico; c) Environment 3 - Latossolo Vermelho Distrófico (FEAM, 2020).

Para todos os locais, os experimentos foram implantados na primeira semana de maio. Foi utilizado o delineamento de blocos ao acaso, avaliando-se 13 cultivares com quatro

repetições, com cada parcela constituída por 18 plantas, espaçadas de 30 cm. O cultivo foi realizado em solo, com a superfície coberta com mulching, sob túnel baixo.

A colheita procedeu com a retirada dos frutos que se encontravam no estágio de maturação com 2/3 de coloração vermelha, os quais foram avaliados quanto ao número de frutos totais (NTF, planta⁻¹), determinado pela soma do número total de frutos colhidos nas diferentes datas que foram realizadas as colheitas; número de frutos comerciais (NFC, planta⁻¹), determinado pela soma do número de frutos classificados dentro dos padrões comerciais (acima de 10g); massa total de frutos (MTF, g planta⁻¹), determinada por meio da pesagem da produção total acumulada de frutos; e massa de frutos comerciais (MFC, g planta⁻¹), determinada por meio da pesagem da produção acumulada de frutos classificados dentro dos padrões comerciais.

Na avaliação das características físico-químicas utilizou-se amostra de 25 frutos considerados comerciais (>10g), por parcela, tomados ao acaso e padronizados quanto ao estágio de maturação. Avaliou-se: firmeza (FIR) – determinada com o auxílio de um penetrômetro digital (Instrutherm DD-200) com ponteira de 2 mm, mediante compressão exercida sobre dois pontos da região central dos frutos inteiros, com resultados expressos em Newton (N); Teor de Sólidos solúveis (SS) – determinado por meio de polpa homogeneizada e filtrada, que foi analisada em refratômetro digital portátil (modelo PAL%1), com valores expressos em °Brix; acidez titulável (AT) – determinada por meio da titulação de 10 g de polpa triturada adicionada + 100 mL de H₂O destilada, com solução padrão de NaOH a 0,1M, obtendo-se o ponto de viragem, quando a solução atingiu o pH de 8,2 (ponto de viragem), com resultados expressos em gramas de ácido cítrico por 100 g de polpa; relação teor de sólidos solúveis/acidez titulável (RATIO) – obtida por meio da razão entre SS e AT; vitamina C (VIT) – determinada por método colorimétrico baseado na redução do 2,6-diclorofenolindofenol-sódico (DFI), padronizado com ácido ascórbico (AOAC, 2000), com os resultados expressos em mg ácido ascórbico 100 g⁻¹ de amostra; e antocianinas totais – determinadas por meio do método desenvolvido por Francis (1982), em mg cianidina-3-glicosídeo 100 g⁻¹ de polpa.

Os dados foram analisados via modelos mistos adotando-se o modelo 54 do *software* Selegen – REML/BLUP (Resende, 2007), correspondente a $y = Xr + Zg + Wi + e$, em que y , r , g , i e e correspondem, respectivamente, aos vetores de dados de efeitos fixos (médias de blocos através dos ambientes), efeitos dos genótipos (aleatório), efeitos da interação genótipo × ambiente (aleatório) e de erros aleatórios; X , Z e W representam matrizes de incidência para

r, g e i, respectivamente. As distribuições e estruturas de médias (E) e variâncias (Var) assumidas foram:

$$E \begin{bmatrix} y \\ g \\ i \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_r \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \text{Var} \begin{bmatrix} g \\ l \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1\sigma_g^2 & 0 & 0 \\ 0 & 1\sigma_i^2 & 0 \\ 0 & 0 & 1\sigma_e^2 \end{bmatrix}$$

O modelo foi ajustado a partir das equações de modelo misto:

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z & X'W \\ Z'X & Z'Z + 1\lambda_1 & Z'W \\ W'X & W'Z & W'W + 1\lambda_2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \hat{r} \\ \hat{g} \\ \hat{i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Xy \\ Zy \\ Wy \end{bmatrix},$$

onde $\lambda_1 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_g^2} = \frac{1-h_g^2-i^2}{h_g^2}$; em que: $h_g^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \sigma_i^2 + \sigma_e^2}$ corresponde à herdabilidade individual, no

sentido amplo no bloco; $i^2 = \frac{\sigma_i^2}{\sigma_g^2 + \sigma_i^2 + \sigma_e^2}$ ao coeficiente de determinação dos efeitos da

interação genótipo x ambiente; σ_g^2 é a variância genotípica; σ_i^2 é a variância da interação

genótipo x ambiente; σ_e^2 a variância residual entre parcelas; $r_{gloc} = \frac{\sigma_i^2}{\sigma_g^2 + \sigma_i^2} = \frac{h_g^2}{h_g^2 + i^2}$

corresponde à correlação genotípica dos genótipos através dos ambientes; $h_{mg}^2 = \frac{\sigma_g^2}{\left(\frac{\sigma_g^2 + \sigma_e^2}{J}\right)}$

corresponde à herdabilidade da média dos genótipos.

Por meio do modelo utilizado, foram obtidos os preditores BLUP empíricos (eBLUP ou REML/BLUP) dos valores genotípicos livres da interação, dados por $\hat{\mu} + \hat{g}_i$, em que $\hat{\mu}$ é a média de todos os ambientes e \hat{g}_i é o efeito genotípico livre da interação genótipo x ambiente. Para cada ambiente j , os valores genotípicos (Vg) são preditos por $\hat{\mu}_j + \hat{g}_i + (\hat{g}e)_{ij}$, em que $\hat{\mu}_j$ é a média do ambiente j ; \hat{g}_i é o efeito genotípico do genótipo i no ambiente j ; e $(\hat{g}e)_{ij}$ é o efeito da interação genótipo x ambiente relativo ao genótipo i .

A predição dos valores genotípicos capitalizando-se a interação média nos diferentes ambientes (gem) é dada por $\hat{\mu}_i + \hat{g}_i + \hat{g}e_m$, sendo calculada por: $\hat{\mu} + \frac{(\hat{\sigma}_g^2 + \hat{\sigma}_i^2)}{\hat{\sigma}_g^2} \hat{g}_i$, em que $\hat{\mu}$ é a média geral de todos os ambientes, n é o número de ambientes e g_i é o efeito genotípico do genótipo i (Resende, 2007).

A partir da predição dos valores genotípicos foram estimadas simultaneamente a adaptabilidade e estabilidade dos genótipos por meio da média harmônica da performance

relativa dos valores genéticos preditos (MHPRVG): $MHPRVG = \frac{n}{(\sum_{j=1}^n \times 1)}$, em que n é o

número de ambientes ($n = 3$) onde se avaliou o genótipo i e Vg_{ij} é o valor genotípico do genótipo i no ambiente j , expresso como proporção da média desse ambiente (Resende, 2007).

3. Resultados e Discussões

Na Tabela 1 estão expressos os resultados referentes às estimativas dos componentes da variância (REML/BLUP). Para massa total de frutos (MTF), número de frutos totais (NFT), número de frutos comerciais (NFC) e massa de frutos comerciais (MFC) foram observados altos valores para o CVe%, variando de 24,77 a 31,35%. No entanto, esses resultados eram previstos, em virtude de se tratarem de caracteres de produção, os quais são altamente influenciados pelo ambiente e controlado geneticamente por genes de efeitos quantitativos, de natureza aditiva, dominante e epistático (Hancock et al., 2008; Gawroński, 2011; Cruz et al., 2012). As características de pós-colheita apresentaram baixo coeficiente de variação (CVe%) (6,59 a 10,88%), indicando condições experimentais confiáveis e estimativas adequadas.

No entanto, para se obter boa confiabilidade experimental em ensaios de comparação de cultivares, é necessário conhecer as proporções entre as variações de natureza genética e residual dos caracteres avaliados, sendo assim, a acurácia de seleção (Acgen) é o parâmetro mais indicado, pois revela a relação entre os valores previstos e reais de cada característica (Resende e Duarte, 2007). Com exceção da Massa de Frutos Comerciais (0,25) e Número de Frutos Comerciais (0,55), todas as outras características apresentaram Acgen de magnitude moderada a forte (0,70 a 0,98).

A herdabilidade no sentido amplo (h^2_g) variou de 0,01 a 0,63. Com exceção de Número de Frutos Comerciais e Massa de Frutos Comerciais, que apresentaram baixa herdabilidade da média dos genótipos (h^2_{mg}), as demais características apresentaram valores de moderada e alta magnitudes, variando de 0,50 a 0,95, o que demonstra bom controle genético desses caracteres. Estes resultados corroboram com os obtidos por Mishra et al. (2015) e Singh et al. (2018), os quais relatam valores de herdabilidade no sentido amplo acima de 70% para produtividade e seus principais componentes no cultivo do morangueiro (número de frutos por planta e massa média de frutos), assim, como para acidez titulável e teor de sólidos solúveis.

No morangueiro, as características relacionadas à produtividade são de origem quantitativa (Hancock et al., 2008; Gawroński, 2011) e altamente influenciadas pelo ambiente, o que possibilita explicar a baixa herdabilidade observada para Número de Frutos Comerciais e Massa de Frutos Comerciais, na presente pesquisa.

Os resultados indicam que ocorreram alterações no ordenamento dos genótipos entre os ambientes, o que é reflexo da correlação genotípica entre os ambientes (r_{gloc}). As características Massa Total de Frutos, Número de Frutos Comerciais, Massa de Frutos Comerciais, acidez titulável (AT) e antocianinas (ANT), apresentaram r_{gloc} de baixa magnitude, variando de 0,03 a 0,45 (Tabela 1), demonstrando que as cultivares apresentaram desempenho diferenciado nos ambientes, indicando a ocorrência da interação complexa entre os genótipos e os ambientes avaliados (Costa et al., 2015), o que não possibilitaria a indicação generalizada das cultivares para todos os locais. As demais características apresentaram r_{gloc} de moderada a alta magnitude (0,61 a 1,00), o que significa que são menos influenciadas pelo ambiente, pois quanto maior a r_{gloc} , menor é a interação genótipo x ambiente. Esses fatores refletem a importância de se estudar a adaptabilidade e estabilidade das cultivares.

A Tabela 2 expressa os valores genotípicos para os caracteres avaliados nos ambientes. Para as características relacionadas à produção, a cultivar Dover foi superior para Número de Frutos Totais em todos os ambientes e permaneceu nas primeiras posições para Massa Total de Frutos. In addition, it was superior in the environments 2 and 3 for AT.

A cultivar Camarosa foi a segunda melhor para Número de Frutos Totais em todos os ambientes e para Número de Frutos Comerciais e Massa de Frutos Comerciais permaneceu na primeira e segunda posição in the environments 2 and 3, respectivamente. Nota-se também que tanto ‘Camarosa’ como ‘Albion’ estiveram entre as cinco primeiras posições para Massa Total de Frutos em todos os ambientes avaliados.

Com relação às características físico-químicas dos frutos, ‘Oso Grande’ foi superior para Firmeza em todos os ambientes, sendo essa a cultivar recomendada quando o destino dos frutos é para mercados distantes das áreas de produção. ‘Sweet Charlie’ se alternou entre primeira e segunda colocação com ‘Oso Grande’ para pH e, além disso, ‘Sweet Charlie’ também permaneceu entre as primeiras posições para Teor de Sólidos Solúveis e Ratio, como a mais adaptada.

Para vitamina C (VIT), em todos os ambientes ‘Camarosa’ foi superior, seguida de ‘Camino Real’, ‘Palomar’, ‘Tudla’ e ‘Albion’. Para antocianinas, ‘Camino Real’, ‘Palomar’ e ‘Albion’ se destacaram nos três ambientes, alternando-se apenas entre as posições.

De maneira geral, para todos os caracteres observou-se que os ordenamentos das cultivares por meio dos valores genotípicos para cada ambiente foram muito próximos aos do método de modelos lineares mistos, que considera a adaptabilidade e estabilidade, simultaneamente (MHPRVG) (Tabela 3). Nota-se que as cultivares Albion, Camarosa e Camino Real permaneceram entre as primeiras colocações para a maioria das características pelo método MHPRVG, o que possibilita inferir que são materiais que apresentam boa adaptabilidade e estabilidade em relação aos ambientes estudados.

Albion, cultivar de dia-neutro, e ‘Camarosa’ e ‘Camino Real’, de dia-curto, estão entre as cultivares mais plantadas no Mundo (Edger et al., 2019; Samtani et al., 2019). Essas informações consolidam os resultados da presente pesquisa, que demonstram maior adaptabilidade e estabilidade dessas cultivares. No entanto, Garcia et al. (2017) verificaram na cultivar Albion acentuadas oscilações de produtividade e massa média de frutos entre diferentes ambientes e anos agrícolas, no Estado de Arkansas, nos Estados Unidos. Este fato evidencia a importância de avaliar as cultivares, o tanto quanto possível, em locais e anos agrícolas distintos.

Em estudos de adaptabilidade e estabilidade de cultivares de morangueiro Costa et al. (2015) e Gabriel et al (2018), verificaram que para características relacionadas à produtividade, ‘Camarosa’ se destacou quando comparada às outras cultivares. Os resultados encontrados no presente trabalho evidenciam que além de produtividade, ‘Camarosa’ também teve bom desempenho para características físico-químicas de pós-colheita, confirmando a ampla adaptação dessa cultivar. Em contrapartida, Sener e Türemis (2016) observaram valores inferiores de massa média de frutos e firmeza de polpa em ‘Camarosa’ em comparação com as cultivares Albion, Monterey e Aromas. No entanto, o trabalho foi desenvolvido em condições edafoclimáticas diferentes da presente pesquisa, assim, o comportamento diferenciado da cultivar Camarosa pode estar relacionado com a interação genótipo x ambiente, tendo em vista que características agrônômicas e bioquímicas de pós-colheita são controladas qualitativamente por vários genes de efeitos aditivos, de dominância e epistáticos. Mathey et al (2017) e Palmieri et al. (2017) afirmam que a diversidade de ambientes contribui para a ocorrência da interação genótipo x ambiente, a qual além de interferir do desenvolvimento das plantas de morangueiro e na produtividade, também afeta as características físico-químicas dos frutos.

A definição da cultivar de morangueiro a ser plantada em uma região é de fundamental importância para se obter sucesso no cultivo, sendo recomendável considerar, além da

variação genética, as condições edafoclimáticas e os respectivos efeitos destas sobre o fenótipo.

Considerando que o morangueiro pode ser propagado vegetativamente, é possível aproveitar toda a variância genética, seja ela de natureza aditiva, dominante ou epistática (Cruz et al., 2012). Contudo, é de extrema necessidade considerar a interação genótipos x ambiente (G*E). Essa interação (G*E), gera incertezas nas estimativas de herdabilidade, correlações (genéticas, fenotípicas) e ganhos esperados com a seleção, principalmente, para caracteres de produção de frutos. Os efeitos da interação genótipo e ambiente, podem ser reduzidos mediante a utilização de cultivares desenvolvidas para cada ambiente (local), ou obtenção de cultivares com adaptabilidade ampla e estáveis, ou ainda, mediante a estratificação das regiões de cultivo (Cruz et al., 2012).

Na indicação de uma cultivar, deve-se preconizar critérios de interesse, com base em ensaios de DHE (Distinguibilidade, Homogeneidade e Estabilidade) e, que esta seja notoriamente, uniforme na expressão de suas características, estável e adaptada, capaz de manter a expressão fenotípica após vários ciclos produtivos. Assim, o uso do método de modelos lineares mistos consiste em eficiente ferramenta para detectar e minimizar os efeitos da interação genótipo x ambiente e permitir com segurança indicação de cultivares mais adaptadas e estáveis para ambientes distintos.

4. Conclusão

Houveram semelhanças nos valores genotípicos para cada ambiente e o método MPRVVG na discriminação das cultivares com maior adaptabilidade e estabilidade.

As cultivares Albion, Camarosa e Camino Real apresentaram maior adaptabilidade e estabilidade pelo método MPRVVG para os ambientes avaliados.

A aplicação de modelos mistos foi eficiente para a seleção dos melhores genótipos de morangueiro considerando múltiplas características.

Estudos dessa natureza permitem identificar genótipos mais adaptados as condições edafoclimáticas de cada região, permitindo aos agricultores maiores ganhos econômicos. Para, além disso, os resultados obtidos serão importantes para trabalhos futuros, principalmente com viés fitotécnico e de melhoramento genético, pois permitiu caracterização dos genótipos em relação aos ambientes de cultivo.

Referências

AOAC – *Official Methods of Analysis of AOAC International*/Dr Willian Horwitz. 2000. 17. Ed. Maryland: AOAC International.

Bhering, SB (2020). *Mapa de Solos do Estado do Paraná. Embrapa Solos - Documentos (INFOTECA-E)*. Available In:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/339505>. (Accessed 19 February 2020).

Bilbao-Sainz, C (2019). Functionality of Strawberry Powder on Frozen Dairy Desserts. *Journal of Texture Studies*, **1-8**. (Autores, por gentileza, verifiquem se os dados da referência estão incompletos... Se é artigo de revista: qual volume? Numero? Etc... verifiquem e se necessário, acertem)

Claire, D (2018). High Productivity of Soilless Strawberry Cultivation Under Rain Shelters. *Scientia Horticulturae* 232(1): 127-138.

Cocco, C (2015). Effects of Site and Genotype on Strawberry Fruits Quality Traits and Bioactive Compounds. *Journal of Berry Research* 5(1): 145-155.

Costa, AF (2015). Adaptability and Stability of Strawberry Cultivars Using a Mixed Model. *Acta Scientiarum Agronomy* 37(1): 435-440.

Cruz, CD (2012). *Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético*. Viçosa: UFV, 508 P.

Dantas, AAA (2007). Classificação e Tendências Climáticas em Lavras, MG. *Ciência E Agrotecnologia* 31: 1862-1866.

Edger, PP (2019). Origin and Evolution of The Octoploid Strawberry Genome. *Nature Genetics*. 51(1): 541.

FAOSTAT (2019). *Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database*: FAO Online Database, Available At: <Http://Www.Fao.Org/Faostat/En/#Data>

FEAM – Fundação Estadual Do Meio Ambiente. Banco De Solos De Minas Gerais. Available In: <Http://Www.Feam.Br/Banco-De-Noticias/949-Mapas-De-Solo-Do-Estado-De-Minas-Gerais>. Accessed on 19 February 2020..

Francis, FJ (1982). *Analysis of Anthocyanins*. In: MARKAKIS, P. *Anthocyanins as Food Colors*. London: Academic Press, 1982. P.181-206.

Gabriel, A (2018). *Phenotypic Stability Of Strawberry Cultivars Assessed*. In Three Environments. *Genetics and Molecular Research* 17: 1-11.

Garcia, ME (2016). Strawberry Cultivar Performance in High Tunnels Under Sustainable and Organic Production Practices in Three Climatic Regions of Arkansas. *Acta Horticulturae* 1156(1): 549-554.

Gawroński, J (2011). Evaluation of The Genetic Control, Heritability and Correlations of Some Quantitative Characters in Strawberry (*Fragaria* × *Ananassa* Duch.). *Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus* 10(1): 71-76.

Hancock, JF (2008). *Strawberries*. In: HANCOCK, J.F. *Temperate Fruit Crop Breeding*. Springer: Dordrecht. P.393-437.

Khatun, M (2019). Resource Use Efficiency Analysis in Strawberry Production in Selected Areas of Bangladesh. *SAARC Journal of Agriculture* 17(1): 189-200.

Mathey, MM (2017). Genotype by Environment Interactions and Combining Ability for Strawberry Families Grown in Diverse Environments. *Euphytica* 213(1): 112.

Mishra, PK (2015). Genetic Variability, Heritability, and Genetic Advance in Strawberry (*Fragaria* × *Ananassa* Duch.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 39(1): 451-458.

Niziol, J (2019). Mass Spectrometry Imaging of Low Molecular Weight Metabolites in Strawberry Fruit (*Fragaria X Ananassa* Duch.) Cv. Primoris with 109Ag Nanoparticle Enhanced Target. *Phytochemistry*, 159(1):11-19.

Palmieri, L (2017). Genotype-By-Environment Effect on Bioactive Compounds in Strawberry (*Fragaria X Ananassa* Duch.). *Journal of The Science of Food and Agriculture*, 97(1): 4180-4189.

Patil, RL (2016). Knowledge Level of Sustainable Cultivation Practices Followed by Strawberry Growers. *International Journal of Tropical Agriculture* 34: 2127-2136.

Pereira, A.S. et al. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Disponível em:
https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1. Acesso em: 20 março 2020.

Pešaković, M (2013). Biofertilizer Affecting Yield Related Characteristics of Strawberry (*Fragaria* × *Ananassa* Duch.) and Soil Micro-Organisms. *Scientia Horticulturae* 150(1): 238-243.

Resende, MDV (2004). *Métodos Estatísticos Ótimos na Análise de Experimentos de Campo*. Colombo: Embrapa Florestas.

Resende, MDV (2007). *SELEGEN-REML/BLUP: Sistema Estatístico E Seleção Genética Computadorizada Via Modelos Lineares Mistos*. Colombo: Embrapa Florestas.

Resende, MDV (2007). Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 37(1): 182-194.

Samtani, JB (2019). The status and future of the strawberry industry in The United States. *Horttechnology*. 29(1): 11-24.

Samykanno, K (2013). Genotypic and Environmental Effects on Flavor Attributes of ‘Albion’ and ‘Juliette’ Strawberry Fruits. *Scientia Horticulturae* 164(1): 633-642.

Şener, S & Türemiş, NF (2016). Effects of genotype and fertilization on fruit quality in several harvesting periods of organic strawberry plantation. *International Journal Of Agriculture Innovations And Research* 5(1): 252-256.

Silva, EMD (2013). *A Cidade E O Clima: Impactos das precipitações concentradas e as tendências climáticas em Uberlândia-MG*. 346 F. Tese (Doutorado Em Geografia) – Uberlândia: Universidade Federal De Uberlândia.

Singh, G (2018). Genetic Variability and Association Analysis in Strawberry (*Fragaria X Ananassa* Duch). *Electronic Journal Of Plant Breeding* 9(1): 169-182.

Whitaker, VM (2012). Estimation of Genetic Parameters For 12 Fruit and Vegetative Traits in The University of Florida Strawberry Breeding Population. *Journal of The American Society for Horticultural Science* 137(1): 316-324.

Wrege, MS (2012). *Atlas Climático Da Região Sul Do Brasil: Estados Do Paraná, Santa Catarina E Rio Grande Do Sul*. 2. Ed. Brasília: Embrapa.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Juliano Tadeu Vilela de Resende – 60%

André Gabriel – 40%