

**Interação cana-de-açúcar x épocas de colheita na Microrregião Centro de Pernambuco
via modelos mistos**

**Sugarcane interaction x harvest times in Pernambuco Center Microrregion by mixed
models**

**Interacción caña de azúcar x tiempos de cosecha en la microrregión Centro de
Pernambuco mediante modelos mixtos**

Recebido: 19/08/2020 | Revisado: 28/08/2020 | Aceito: 03/09/2020 | Publicado: 04/09/2020

Pedro Henrique Neves de Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8075-1856>

Destilaria Miriri, Brasil

E-mail: pedrohns@yahoo.com.br

Gerson Quirino Bastos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4023-8609>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: bastosgq@hotmail.com

João de Andrade Dutra Filho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9515-7267>

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

E-mail: joaodutrafilho7@gmail.com

Resumo

Objetivou-se com este trabalho verificar a influência das épocas de colheita na maturação de variedades de cana-de-açúcar e identificar aquelas de maior produtividade agroindustrial pela metodologia de modelos mistos. Foram avaliadas 26 variedades comerciais em três épocas e três ciclos de colheita, sendo avaliado os seguintes caracteres: toneladas de sacarose por hectare (TSH), toneladas de cana por hectare (TCH), percentual de sacarose no caldo da cana (PCC) e açúcares totais recuperáveis (ATR). Os experimentos foram instalados em delineamento de blocos ao acaso com 4 repetições em esquema fatorial 3x3x26. Foram utilizadas duas metodologias para análise de adaptabilidade e estabilidade: metodologia não paramétrica de Huenh e modelos lineares mistos. A análise de deviance revelou diferenças significativas entre as variedades nas três épocas de colheita, indicando que as respectivas épocas são ambientes contrastantes e exercem influência na expressão fenotípica dos

caracteres. Verificou-se a existência de variabilidade genética entre as variedades possibilitando a prática da seleção. As altas estimativas da herdabilidade média sugerem ganhos genéticos significativos com a prática da seleção nos caracteres avaliados. As metodologias empregadas na análise de adaptabilidade e estabilidade não foram concordantes na identificação de variedades mais produtivas nos respectivos segmentos de maturação. A metodologia de modelos mistos mostrou-se mais eficiente e permitiu a identificação da variedade RB92579 como a mais produtiva para TSH e TCH e das variedades RB942520 e RB813804 para PCC e ATR.

Palavras-chave: *Saccharum* spp.; Maturação; Adaptabilidade; Estabilidade; REML/BLUP.

Abstract

The objective of this work was to verify the influence of harvest times on the maturation of sugarcane varieties and to identify those with higher agro-industrial productivity through the mixed model methodology. 26 commercial varieties were evaluated in three cycles and three harvest times, with the following traits being evaluated: tons of sucrose per hectare (TSH), tons of cane per hectare (TCH), percentage of sucrose in the sugarcane juice (PCC) and totals recoverable sugars (TRH). The experiments were installed in a randomized block design with 4 replications in a 3x3x26 factorial scheme. Two methodologies were used to analyze adaptability and stability: Huenh's non-parametric methodology and mixed linear models. The deviance analysis revealed significant differences between the varieties in the three harvest times, indicating that the respective harvest times are contrasting environments and influence the phenotypic expression of the traits. It was verified the existence of genetic variability between the varieties, allowing the practice of selection. The high estimates of the average heritability suggest significant genetic gains with the practice of selection in the evaluated traits. The methodologies used in the analysis of adaptability and stability were not coincident in the identification of more productive varieties in the respective maturation segments. The mixed model methodology proved to be more efficient and allowed the identification of the RB92579 variety as the most productive for TSH and TCH and of the RB942520 and RB813804 varieties for PCC and ATR.

Keywords: *Saccharum* spp.; Maturation; Adaptability; Stability; REML/BLUP.

Resumen

El objetivo de este trabajo fue verificar la influencia de las temporadas de cosecha en la maduración de las variedades de caña de azúcar e identificar aquellas con mayor

productividad agroindustrial mediante la metodología del modelo mixto. Se evaluaron 26 variedades comerciales en tres temporadas y tres ciclos de cosecha, siendo evaluados los siguientes caracteres: toneladas de sacarosa por hectárea (TSH), toneladas de caña por hectárea (TCH), porcentaje de sacarosa en el jugo de caña de azúcar (PCC) y azúcares Totales recuperables (ATR). Los experimentos se instalaron en un diseño de bloques aleatorios con 4 repeticiones en un esquema factorial de 3x3x26. Se utilizaron dos metodologías para analizar la adaptabilidad y la estabilidad: la metodología no paramétrica de Huenh y los modelos lineales mixtos. El análisis de desviación reveló diferencias significativas entre variedades en las tres temporadas de cosecha, lo que indica que las respectivas temporadas son ambientes contrastantes y ejercen una influencia en la expresión fenotípica de los caracteres. Se verificó la existencia de variabilidad genética entre las variedades, permitiendo la práctica de la selección. Las altas estimaciones de la heredabilidad promedio sugieren ganancias genéticas significativas con la práctica de la selección en los caracteres evaluados. Las metodologías utilizadas en el análisis de adaptabilidad y estabilidad no fueron consistentes en la identificación de variedades más productivas en los respectivos segmentos de maduración. La metodología del modelo mixto demostró ser más eficiente y permitió identificar la variedad RB92579 como la más productiva para TSH y TCH y de las variedades RB942520 y RB813804 para PCC y ATR.

Palabras clave: *Saccharum* spp.; Maduración; Adaptabilidad; Estabilidad; REML/BLUP.

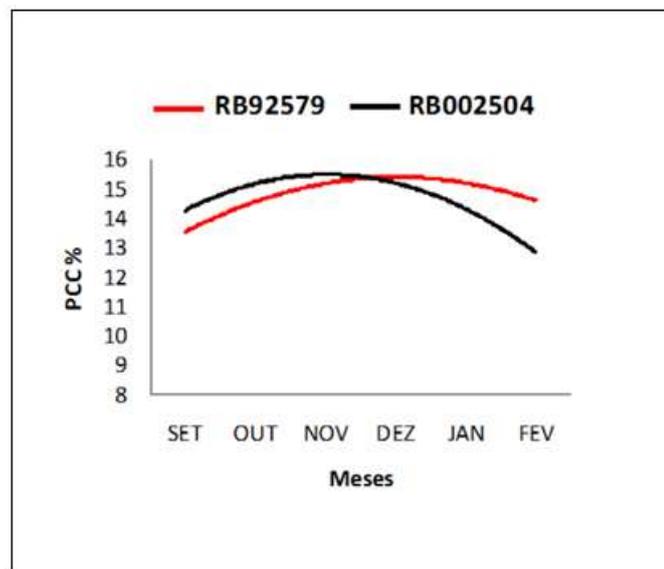
1. Introdução

No estado de Pernambuco, o principal fator que dificulta o incremento na produtividade da cana-de-açúcar é a variação ambiental que se expressa, sobretudo, na heterogeneidade dos solos, relevos acidentados e, sobretudo na irregularidade das chuvas com longos períodos de estiagem (Dutra Filho et al., 2014).

No melhoramento genético da cana-de-açúcar em Pernambuco, experimentos de competição de variedades são colhidos em três épocas distintas: 1ª início de safra, que corresponde aos meses de setembro e outubro; nesse caso, busca-se identificar genótipos de maturação precoce. 2ª Meio de safra, que corresponde aos meses de novembro e dezembro. E 3ª final de safra, que corresponde aos meses de janeiro e fevereiro; nesses experimentos, considera-se em média três ciclos de colheita, cana planta, cana soca e cana ressoca para também avaliar a longevidade nas soqueiras (Souza et al., 2012).

Agronomicamente, o comportamento diferencial de um genótipo (variedade) em ambientes distintos, que no caso específico da cana-de-açúcar, pode ser os locais, os ciclos e as épocas de colheita, é definido como interação genótipo x ambiente (Perina et al., 2010). Experimentos conduzidos e colhidos em diferentes épocas de colheita são fundamentalmente importantes na identificação de genótipos de maior produtividade agrônômica e industrial em cada segmento de maturação, uma vez que, em apenas dois meses de atividade é impossível às usinas e destilarias efetuarem a moagem do grande volume de material colhido em suas áreas de cultivo (Figura 1).

Figura 1. Curva de maturação de duas variedades comerciais de cana-de-açúcar avaliadas em três épocas de colheita que correspondem a três segmentos de maturação. Fonte: PMGCA/UFRPE/RIDESA.



Fonte: Autores.

É importante salientar que em caso de identificação significativa das épocas de colheita na expressão dos caracteres agroindustriais, deve-se proceder as análises de adaptabilidade e estabilidade com o objetivo de recomendar, com maior segurança, as variedades de maior produtividade em cada segmento de maturação.

Existem atualmente dezenas de métodos para análise de adaptabilidade e estabilidade cada um deles com suas particularidades e propriedades estatísticas, devendo o melhorista conhecê-los detalhadamente e escolher aqueles que melhor se enquadram em suas reais necessidades (Teodoro et al., 2015). Por exemplo, o método de Eberhart e Russel (1966), baseado na regressão linear simples, está entre os mais utilizados, entretanto não é

recomendado sua utilização em pequeno número de ambientes, pois pode causar a não rejeição de hipóteses nulas (Teodoro et al., 2015). O Método de análise não paramétrica de Huenh (1990) é de fácil interpretação, sendo avaliada por meio das estatísticas S1, S2 e S3 baseadas, de acordo com Cruz et al. (2014), na classificação dos genótipos em n ambientes em relação aos dados originais ou nos efeitos da interação G x A.

A metodologia de modelos lineares mistos, segundo Resende (2007), pode ser usada em qualquer número de ambientes e para cada caráter quantitativo avaliado fornece parâmetros de adaptabilidade e estabilidade genotípicas.

Como os experimentos na fase de competição de variedades são conduzidos em três épocas de colheita, ou seja, em número reduzido de ambientes a metodologia de modelos mistos deve ser a mais indicada para identificar os genótipos de maior produtividade em cada segmento de maturação.

Diante do exposto, esse trabalho teve por objetivo verificar a influência das épocas de colheita na maturação de variedades de cana-de-açúcar e identificar aquelas de maior produtividade agroindustrial pela metodologia de modelos mistos.

2. Metodologia

Três experimentos de competição de variedades de cana-de-açúcar, para colheita em início, meio e final de safra, foram instalados na microrregião canavieira da Mata Centro de Pernambuco (Koffler et al., 1986), na área agrícola da Usina Petribú, localizada no município de Lagoa do Itaenga, Engenho Pitangueiras, com coordenadas geográficas (08°45' S e 35°06' W) e altitude de 08 m, durante os anos agrícolas 2005/2006, 2006/2007 e 2007/2008.

Os experimentos foram instalados em delineamento de blocos ao acaso com 4 repetições em esquema fatorial 3x3x26.

Foram avaliadas 26 variedades comerciais, conforme identificado na Tabela 1.

Tabela 1. Identificação e procedência das 26 variedades de cana-de-açúcar.

Genótipos	Procedência
1. RB867515	RIDESA
2. RB92579	RIDESA
3. SP81-3250	COPERSUCAR
4. Q138	AUSTRÁLIA
5. RB863129	RIDESA
6. SP79-1011	COPERSUCAR
7. RB93509	RIDESA
8. RB75126	RIDESA
9. RB942520	RIDESA
10. SP78-4764	COPERSUCAR
11. RB892700	RIDESA
12. RB953180	RIDESA
13. RB942898	RIDESA
14. RB953281	RIDESA
15. RB952900	RIDESA
16. RB942991	RIDESA
17. RB72454	RIDESA
18. RB872552	RIDESA
19. RB943365	RIDESA
20. RB952675	RIDESA
21. RB928064	RIDESA
22. RB942849	RIDESA
23. RB813804	RIDESA
24. RB943161	RIDESA
25. RB943066	RIDESA
26. RB943538	RIDESA

Fonte: Autores.

Os caracteres agroindustriais avaliados, segundo a metodologia proposta por Fernandes (2003), foram: toneladas de sacarose por hectare (TSH), toneladas de cana por hectare (TCH), percentual de sacarose no caldo da cana (PCC%) e açúcares totais recuperáveis (ATR).

Para a análise de deviance conjunta (ANADEV), considerando todos os ciclos e épocas de colheita, o modelo utilizado foi:

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

Em que y é o vetor de dados, f é o vetor dos efeitos das combinações repetição-local-ano (assumidos como fixos) somados à média geral, g é o vetor dos efeitos genotípicos (variedades) (assumidos como aleatórios), a é vetor dos efeitos da interação de genótipos com ciclos de colheita (aleatórios), i é o vetor dos efeitos da interação genótipos x épocas de

colheita, e é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

A análise não paramétrica de adaptabilidade e estabilidade proposta por Huenh (1990), foi obtida por meio da expressão:

$$GA_{ij} = Y_{ij} - Y_{i.} - Y_{.j} + Y_{..}$$

Em que:

Y_{ij} : média do i -ésimo genótipo (variedade) no j -ésimo ambiente (época de colheita);

$Y_{i.}$: média geral do i -ésimo genótipo;

$Y_{.j}$: média geral do j -ésimo ambiente; e

$Y_{..}$: Média geral do experimento.

As medidas não paramétricas da estabilidade, denotadas por S_1 , S_2 e S_3 foram obtidas conforme a descrição a seguir:

S_{1i} : média das diferenças absolutas entre as classificações do genótipo i nas épocas de colheita, dada por: $S_{1i} = \frac{\sum_{j < k} |r_{ij} - r_{ik}|}{a(a-1)/2}$

Em que:

r_{ij} : classificação do genótipo i na época j ; e
a número de épocas.

S_{2i} : variância das classificações do genótipo i nos ambientes, fornecida por:

$$S_{2i} = \frac{\sum_j (r_{ij} - r_i)^2}{a(a-1)/2}$$

Em que: $r_i = \sum_j r_{ij} / a$

S_{3i} : soma dos desvios absolutos de cada classificação em relação à média das classificações, dada por: $S_{3i} = \frac{\sum_j |r_{ij} - r_i|}{r_i}$

Os genótipos (variedades) com máxima estabilidade apresenta S_1 , S_2 e S_3 iguais a zero. Os testes de χ^2 para avaliação das estatísticas S_1 e S_2 seguiram a descrição apresentada por Cruz et al. (2014).

Por meio do modelo da análise de deviance, foram obtidos os componentes de variância e os preditores (REML/BLUP) dos valores genotípicos livres da interação genótipos x épocas de colheita.

Para a análise via modelos mistos, seguiu-se a metodologia apresentada por Resende (2007), onde, a predição dos valores genotípicos, que reúne a interação média (ge) nas diferentes épocas, é dada por: $(u + g + ge)$

Sendo calculado por: $u + \left\{ \left[\frac{\hat{\sigma}_g^2 + \hat{\sigma}_e^2}{n} \right] \hat{\sigma}_g^2 \right\} \hat{g}_i$

Em que:

u é a média geral de todos as épocas de colheita;

n é o número de épocas de colheita; e

\hat{g}_i é o efeito genotípico específico (genótipo i).

A seleção conjunta, que considera a produtividade média, a estabilidade e a adaptabilidade dos clones e cultivares ao longo das épocas de colheita foi determinada pela Média Harmônica da Performance Relativa dos Valores Genotípicos (MHPRVG) conforme:

$$\text{MHPRVG}_i = n / \left(\sum_{j=1}^n 1/Vg_{ij} \right),$$

Em que:

n é o número de épocas de colheita onde se avaliou o genótipo i ; e

Vg_{ij} é o valor genotípico do genótipo i , na época de colheita j , expresso como proporção média desse ciclo

Os valores de MHPRVG foram multiplicados pela média geral de todos os ambientes (MG), o que resulta na mesma ordem de grandeza do caráter avaliado. As análises genético-estatísticas foram processadas com o auxílio do programa Genes (Cruz, 2013) e Selegen (Resende, 2007).

3. Resultados e Discussão

Os resultados referentes à análise de deviance e às estimativas dos parâmetros genéticos para os caracteres toneladas de sacarose por hectare, toneladas de cana por hectare, percentual de sacarose no caldo da cana e açúcares totais recuperáveis estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Média geral, parâmetros genéticos, estimativas dos componentes de variância dos caracteres toneladas de sacarose por hectare (TSH), toneladas de cana por hectare (TCH), percentual de sacarose no caldo da cana (PCC) e açúcares totais recuperáveis (ATR), avaliados em experimento conduzido na área agrícola da Usina Petribú, Município de Lagoa do Itaenga – PE, considerando 3 ciclos de colheita.

	Caracteres			
	TSH	TCH	PCC	ATR
V _G	1.18	65.84	0.19	16.99
V _{GC}	0.66	28.16	0.11	11.01
V _{GL}	0.37	12.74	0.09	7.12
V _E	2.99	128.98	0.89	70.89
V _F	5.22	235.73	1.29	106.02
h _{2g}	0.23	0.28	0.15	0.16
R ² _{GC}	0.13	0.12	0.09	0.10
R ² _{GL}	0.07	0.05	0.07	0.06
h _{2mc}	0.90	0.94	0.87	0.88
Acclon	0.95	0.97	0.93	0.94
R _{gl}	0.76	0.84	0.69	0.70
R _{ga}	0.64	0.70	0.63	0.61
r _{gl_a}	0.83	0.88	0.78	0.80
r _{ga_l}	0.70	0.74	0.71	0.69
r _{gl_ma}	0.79	0.86	0.72	0.74
r _{ga_ml}	0.66	0.71	0.66	0.64
R _{gla}	0.53	0.62	0.49	0.48
Média geral	10.14	70.18	14.52	144.18
Efeito	Deviances			
Genótipo	1949.18**	4584.52**	1066.36**	4146.91**

Valores de Qui-quadrado (X^2) tabelado: 2.71 e 6.63 para os níveis de significância de 5% (*) e 1% (**) de probabilidade, respectivamente, e (ns) não significativo.

V_G: Variância genotípica. V_{GC}: Variância da interação genótipos x ciclos de colheita. V_{GL}: Variância da interação genótipo x locais (épocas de colheita). V_E: Variância residual. V_F: Variância fenotípica individual. h_{2g}: Herdabilidade de parcelas individuais no sentido amplo. R²_{GC}: Coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipos ciclos de colheita. R²_{GL}: Coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipos x locais (épocas de colheita). h_{2mg}: Herdabilidade no sentido amplo ao nível de médias de genótipos. Acclon: Acurácia de seleção ao nível de médias de genótipos. r_{gl}: Correlação genotípica através dos locais (épocas), em qualquer ciclo. r_{ga}: Correlação genotípica através dos anos (ciclos de colheita), válida para qualquer local. r_{gl_a}: Correlação genotípica através dos locais (épocas), em dado ciclo. r_{ga_l}: correlação genotípica através dos ciclos, em dado local (épocas). r_{gl_ma}: Correlação genotípica através das épocas para média de todos os ciclos. r_{ga_ml}: Correlação genotípica através dos ciclos, para média de todas as épocas e r_{gla}: Correlação genotípica através das épocas e ciclos de colheita. Fonte: Elaboração dos autores (2020).

A análise de deviance revelou diferenças significativas entre as variedades para os respectivos caracteres, avaliados em três ciclos e três épocas de colheita. Este resultado demonstra a ocorrência de variabilidade genética no material estudado, indicando que a expressão fenotípica difere entre as variedades, nos respectivos ciclos e épocas de colheita.

A variância genotípica foi superior a variância da interação genótipos x ciclos de colheita e a variância da interação genótipos x locais (épocas de colheita). Trata-se de uma situação muito favorável para a seleção de variedades mais produtivas nos segmentos específicos de maturação. Apesar dos ciclos e das épocas de colheita exercerem influência sobre as variedades, a expressão desses importantes caracteres de produtividade são devidos, em sua maior parte, aos efeitos genéticos (Dutra Filho et al., 2014).

A herdabilidade de parcelas individuais no sentido amplo apresentou baixa magnitude, entretanto os coeficientes de determinação revelam pouca participação da variância das interações na variância fenotípica total dos caracteres avaliados. Sendo assim, é fundamental proceder ao desdobramento da variância das interações para maximizar o ganho na seleção Rosado et al. (2012). Uma vez que, os coeficientes de correlação genotípica através dos ciclos e das épocas de colheita foram elevadas, sinalizando a identificação de variedades, cuja expressão fenotípica dos caracteres, com maior predominância do componente genético, foram estáveis ao longo dos ciclos e das épocas de colheita.

A herdabilidade média dos genótipos, para os três caracteres, apresentaram alta magnitude, expressando segundo Rodrigues et al. (2011), confiabilidade do valor fenotípico como indicador do valor genético. Para Neto et al. (2012), herdabilidades de alta magnitude implicam em ganhos genéticos significativos.

A acurácia de seleção ao nível de médias das variedades, segundo Pereira et al. (2013), depende da herdabilidade e se refere a correlação entre valores genéticos preditos e valores genéticos reais dos indivíduos. Nesse caso, quanto maior a acurácia na avaliação de um caráter no genótipo, maior é a confiança no valor genético predito para uma seleção mais precisa (Maia et al., 2017). Logo, no presente trabalho, tem-se grande possibilidade de selecionar acertadamente as melhores variedades para cada segmento de maturação.

Constata-se que as variedades 9 e 26 apresentaram os maiores valores genotípicos preditos ($u+g+ge$) para os caracteres TSH e TCH, nas épocas de colheita, e os maiores ganhos genéticos. O que demonstra superioridade produtiva desses materiais em relação aos demais (Tabela 3).

Tabela 3. Estimativas de ganho genético predito das 5 melhores variedades de cana-de-açúcar para os caracteres toneladas de sacarose por hectare (TSH), toneladas de cana por hectare (TCH), percentual de sacarose no caldo da cana (PCC) e açúcares totais recuperáveis (ATR) avaliados em experimento conduzido na área agrícola da Usina Petribú, Município de Lagoa do Itaenga – PE, considerando 3 ciclos de colheita.

Toneladas de Sacarose por hectare (TSH)					
Épocas	Genótipo	g + ge	u + g + ge	Ganho	Nova média
1 ^a	9	1.76	11.86	1.76	11.86
	26	1.43	11.53	1.60	11.69
	6	1.16	11.26	1.45	11.55
	25	0.88	10.97	1.31	11.40
	11	0.82	10.92	1.21	11.31
2 ^a	9	3.23	13.66	3.23	13.67
	26	1.70	12.13	2.46	12.90
	6	1.45	11.89	2.13	12.56
	2	1.15	11.59	1.88	12.32
	24	0.99	11.42	1.70	12.14
3 ^a	9	2.28	12.17	2.28	12.17
	15	1.81	11.70	2.04	11.93
	2	1.75	11.64	1.94	11.84
	24	1.73	11.62	1.89	11.78
	6	1.33	11.22	1.78	11.67
Toneladas de cana por hectare (TCH)					
1 ^a	9	19.47	94.26	19.47	94.26
	11	14.45	89.24	16.96	91.75
	26	9.47	84.25	14.46	89.25
	3	6.89	81.68	12.57	87.36
	6	5.92	80.70	11.24	86.03
2 ^a	9	19.91	88.15	19.91	88.15
	26	10.89	79.13	15.40	83.64
	11	8.02	76.26	12.94	81.18
	3	7.65	75.89	11.62	79.86
	2	6.75	74.99	10.64	78.88
3 ^a	9	19.69	87.23	19.69	87.23
	24	10.69	78.23	15.19	82.73
	15	10.55	78.09	13.65	81.18
	2	10.22	77.75	12.79	80.32
	5	8.81	76.34	11.99	79.53
Percentual de sacarose no caldo da cana (PCC)					
1 ^a	12	0.72	14.30	0.72	14.30
	16	0.67	14.26	0.69	14.28
	4	0.63	14.21	0.67	14.26
	25	0.35	13.94	0.59	14.18
	18	0.31	13.90	0.54	14.12
2 ^a	12	0.78	16.05	0.78	16.05
	16	0.63	15.90	0.70	15.97
	6	0.55	15.82	0.65	15.92

	4	0.44	15.72	0.60	15.87
	9	0.41	15.68	0.56	15.83
	12	0.65	15.37	0.65	15.37
3 ^a	4	0.50	15.22	0.58	15.29
	6	0.41	15.12	0.52	15.24
	2	0.39	15.10	0.49	15.20
	15	0.33	15.04	0.46	15.07
		Açúcares totais recuperáveis (ATR)			
1 ^a	12	6.99	143.02	6.99	143.02
	16	6.61	142.64	6.80	142.83
	4	6.39	142.42	6.66	142.69
	25	3.28	139.31	5.82	141.85
2 ^a	18	2.94	138.97	5.24	141.27
	12	8.19	159.43	8.19	159.43
	16	5.95	157.19	7.07	158.31
	6	4.65	155.88	6.27	157.50
3 ^a	4	4.27	155.70	5.77	157.00
	9	3.63	154.86	5.34	156.57
	12	6.48	151.78	6.48	151.78
	4	4.81	150.11	5.64	150.95
	6	3.26	148.56	4.85	150.15
	2	2.92	148.22	4.37	149.67
	15	2.67	147.97	4.03	149.33

Fonte: Autores.

Para os caracteres PCC e ATR, as variedades 12, 16 e 4 apresentaram os maiores valores genotípicos preditos ($u+g+ge$) e os maiores ganhos genéticos.

Os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade genotípicas estão apresentadas na Tabela 4. De acordo com Rosado et al. (2012), a seleção, praticada pelos maiores valores genotípicos, implica, simultaneamente, em adaptabilidade, estabilidade e produtividade. Sendo assim, a variedade 9 (RB92579) se apresenta como a mais estável e produtiva relação aos caracteres TSH e TCH.

Tabela 4. Média Harmônica da Performance relativa dos valores genotípicos (MHPRVG) das 5 melhores variedades de cana-de-açúcar em relação aos caracteres toneladas de sacarose por hectare (TSH), toneladas de cana por hectare (TCH), percentual de sacarose no caldo da cana (PCC) e açúcares totais recuperáveis (ATR) avaliados em experimento conduzido na área agrícola da Usina Petribú, Município de Lagoa do Itaenga – PE, considerando 3 ciclos de colheita.

Genótipos	Caracteres			
	TPH		TCH	
	MHPRVG	MHPRVG*MG	MHPRVG	MHPRVG*MG
9	1.23	12.53	1.28	89.91
6	1.12	11.45		
26	1.12	11.41	1.12	79.03
2	1.11	11.31	1.10	77.45
24	1.10	11.22	1.09	76.91
11			1.19	80.00
		PCC		ATR
12	1.04	15.24	1.05	151.40
4	1.03	15.05	1.03	149.38
16	1.03	15.04	1.03	149.23
6	1.03	14.96	1.02	147.62
2	1.02	14.81		
25			1.01	146.92

Fonte: Autores.

É importante destacar que houve concordância, as variedades que apresentaram maiores valores genéticos preditos, apresentaram maior produtividade e maiores valores de adaptabilidade e estabilidade genotípicas.

A classificação das variedades pela metodologia de Huenh (1990), considerando as médias das variedades avaliadas nas três épocas de colheita, estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5. Classificação das variedades de cana-de-açúcar resultantes da avaliação em três épocas de colheita.

Variedades	1 ^a				2 ^a				3 ^a			
	TSH	TCH	PCC	ATR	TSH	TCH	PCC	ATR	TSH	TCH	PCC	ATR
1	17	17	5	3	8	11	11	6	8	7	8	5
2	23	22	15	17	2	1	5	2	19	19	17	15
3	13	1	18	20	9	15	19	19	5	14	23	24
4	15	3	16	21	14	6	14	17	1	2	8	8
5	20	18	13	8	11	14	8	9	6	10	5	4
6	10	6	9	13	3	7	13	15	5	6	3	1
7	12	9	18	15	22	21	8	11	16	20	13	9
8	9	12	23	22	4	4	19	18	2	5	15	11
9	25	8	26	26	25	9	26	26	7	15	15	3
10	3	13	2	2	15	3	24	24	13	11	21	21
11	11	25	20	18	23	23	25	25	17	4	26	25
12	1	5	12	12	2	8	6	12	3	3	4	3
13	2	23	26	24	10	19	17	7	9	12	24	22
14	21	21	3	5	7	2	11	14	19	17	17	16
15	19	19	5	1	17	13	12	8	20	22	8	10
16	4	16	20	19	24	25	17	13	25	18	23	23
17	18	8	23	23	20	24	22	21	22	24	10	14
18	24	20	24	25	19	22	9	10	14	1	26	26
19	9	2	6	9	26	26	5	3	26	26	1	6
20	15	4	21	16	6	10	5	4	15	13	19	19
21	6	15	1	4	12	5	24	23	12	9	20	20
22	5	11	11	11	16	16	17	20	11	8	3	7
23	7	10	7	10	5	12	20	22	10	16	11	13
24	22	24	9	6	14	17	21	16	23	26	12	17
25	26	26	10	7	18	18	1	1	21	23	9	12
26	16	14	15	14	21	20	2	5	24	21	18	18

Fonte: Autores.

Constata-se que não houve concordância entre a metodologia de modelos mistos e a metodologia de Huenh (1990), na classificação das variedades quanto ao desempenho agroindustrial avaliados nas três épocas de colheita. Capone et al. (2016), estudando a combinação de métodos paramétricos e não paramétricos para análise de adaptabilidade e estabilidade em cultivares de soja, não observaram concordância da metodologia de Huenh (1990) com as demais. Esses autores identificaram seis cultivares que acumularam o maior número de sinais positivos nos ambientes avaliados, entretanto, pela metodologia de Huenh (1990), foram discriminados como produtivos e estáveis apenas os quatro primeiros cultivares.

É importante salientar que a metodologia de Huenh considera como mais estáveis aqueles genótipos (variedades) com valores próximos de zero. Logo, para o caractere TSH, a variedade 12 se apresenta como a mais estável. Para TCH, a mais estável é a variedade 6. Em relação a PCC, a variedade 6 e finalmente para ATR, a variedade 1. Mais uma vez não se observa concordância quanto a produtividade a estabilidade.

A variedade 12 apontada como a mais estável pela metodologia de Huenh, não figurou entre as cinco melhores pela metodologia de modelos mistos (Tabela 6). O mesmo se pode dizer em relação a variedade 6 para TCH.

De acordo com Cruz et al. (2014), uma das críticas que se faz a metodologia de Huenh é o fato de todo o processo de classificação não levar em consideração a grandeza dos valores obtidos, de modo que diferenças mínimas ou enormes terão o mesmo peso na classificação. Tal problema não aparece na metodologia de modelos mistos, pois a mesma produz resultados na própria unidade ou escala do caráter avaliado (Torres et al., 2015).

Tabela 6. Medidas de estabilidade de 26 variedades de cana-de-açúcar avaliadas em três épocas de colheita, de acordo com a metodologia proposta por Huenh (1990).

Variedades	TSH			TCH			PCC			ATR		
	S ₁	S ₂	S ₃	S ₁	S ₂	S ₃	S ₁	S ₂	S ₃	S ₁	S ₂	S ₃
1	6	27	1	6.6	25.3	0.9	4	9	0.7	2	2.3	0.7
2	14	124.3	1.7	14	129	1.8	8	41	1.1	10	66	1.6
3	5.3	16	0.8	9.3	61	1.8	3.3	7	0.3	3.3	7	0.2
4	9.3	61	1.8	2.6	4.3	1.2	5.3	17	0.7	8.6	44	0.9
5	9.3	50.3	1.2	5.3	16	0.5	5.3	16.3	1	3.3	7	0.8
6	4.6	13	1.3	0.6	0.3	0.2	6.6	25	1.2	9.3	57	1.7
7	6.6	25.3	0.6	8	44.3	0.9	6.6	25	0.7	4	9.3	0.5
8	4.6	13	1.6	5.3	19	1.4	5.3	16	0.4	7.3	31	0.7
9	12	108	1.2	4.6	14.3	0.8	7.3	40	0.6	15	176	1.6
10	8	41.3	1.4	6.6	28	1.3	14.6	142	1.7	14	142	1.7
11	8	36	0.7	14	134.3	1.5	4	10	0.3	4	16	0.4
12	1.3	1	1	3.3	6.3	1	5.3	17	1.2	6	27	1.3
13	5.3	19	1.4	7.3	31	0.6	6	22	0.4	11	86	1.2
14	9.3	57.3	1.1	12.6	100	1.7	9.3	49	1.4	7	34	1.1
15	2	2.3	1.1	6	21	0.5	4.6	12	0.8	6	22	1.6
16	14	140.3	1.5	6	22.3	0.5	4	9	0.3	6.6	25	0.5
17	2.6	4	0.2	10.6	85.3	1.1	8.6	52	0.9	6	22	0.5
18	6.6	25	0.5	14	134	1.8	11	86	1	10	80	1
19	11.3	96.3	1.1	16	192	1.7	3.3	7	1.5	4	9	1
20	6	27	1.0	6	21	1.1	10.6	76	1.3	10	63	1.3
21	4	12	0.8	6.6	16.3	1.1	15.3	151	1.8	12	104	1.4
22	7.3	30.3	1	5.3	9.3	0.7	9.3	49	1.4	8	44	1.1
23	3.3	6.3	0.7	4	22.3	0.5	8.6	44	1	8	39	0.9
24	6	24.3	0.5	6	16.3	0.4	8	39	1	7.3	37	1
25	5.3	16.3	0.4	5.3	14.33	0.3	6	24.3	1.7	7.3	30	1.7
26	5.3	16.3	0.4	4.6	7.2	0.4	10.6	72	1.6	8.6	44	1.1

Fonte: Autores.

Outro ponto importante a ser considerado é que o parâmetro de estabilidade fornecido pela metodologia de Huenh é de natureza fenotípica. Com a metodologia de modelos mistos é possível estimar a média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos, com os valores genéticos já descontados da instabilidade e capitalizado pela adaptabilidade (MHPRVG*MG), assim, pode-se praticar a seleção genética com base nos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade genotípicas, e produtividade. Essa média harmônica permitiu identificar a variedade RB92579 como a mais produtiva em relação a TSH e TCH em todos os segmentos de maturação.

4. Considerações Finais

O objetivo do trabalho foi alcançado, verificou-se que as épocas de colheitas são ambientes contrastantes e que influenciam significativamente na expressão fenotípica dos caracteres em avaliação. Desta forma, existe a necessidade, por parte do melhorista, em utilizar uma metodologia robusta para análise de adaptabilidade e estabilidade, aplicável a um número reduzido de ambientes para identificar variedades e clones promissores mais produtivos e de elevado teor de sacarose em cada época de colheita, isto é, em cada segmento de maturação.

Os modelos lineares mistos se apresentam como métodos ótimos de seleção nessa última etapa do melhoramento genético da cana-de-açúcar que é decisiva para a liberação de novas variedades. Além de poder ser aplicada, como visto anteriormente, a um número reduzido de ambientes, possibilita que a seleção seja praticada com base nos valores genéticos que com certeza influenciará significativamente a decisão do melhorista.

Referências

- Capone, A., Dario, A.S., Vicentino, L. A. L., Fidelis, R. R., & Barros, H. B. (2016). Combinação de métodos paramétricos e não-paramétricos para estudo da estabilidade de cultivares de soja no Cerrado Tocantinense. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 11(2), 21-25.
- Cruz, C. D. (2013). GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum*, 35(3), 271-276.
- Cruz, C. D., Regazzi, A., & Carneiro, P. C. S. (2014). *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa: UFV, 4, 514.
- Dutra Filho, J. A., Junior, T. C., & Simões Neto, D. E. (2014). Phenotype adaptability and stability of sugarcane genotypes in the sugarcane belt of the State of Pernambuco, Brazil. *Genetics and Molecular Research*, 13(3), 6865-6877.
- Eberhart, A. S., & Russell, W. A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6(1), 36-40.

Huenh, M. (1990). Nonparametric measures of phenotypic stability. Part 1: Theory. *Euphytica*, 47, 189-194.

Huenh, M. (1990). Nonparametric measures of phenotypic stability. Part 2: Application. *Euphytica*, 47, 195-201.

Koffler, N. F., Lima, J. F. W. F., Lacerda, M. F., Santana, J. F., & Silva, M.,A. (1986). *Caracterização edafo-climática das regiões canavieiras do Brasil: Pernambuco*. Planalsucar,

Maia, M. C. L., Oliveira, L. C., Vasconcelos, L. F. L., Neto, F. P. L. M., Yokomizo, G. K., & Araújo, L. B. Repetibilidade de características quantitativas de frutos em seleções elite de manga rosa. *Revista Agro@mbiente On-line*, 11(1), 56-62.

Mansour, H., Nordheim, E. V., & Ruledge, J. J. (1981). Estimators of repeatability. *Theoretical and Applied Genetics*, 60(03),151-156.

Neto, J. T. F., Oliveira, M. S. P., Resende, M. D. V., & Rodrigues, J. C. (2012). Parâmetros genéticos e ganhos com a seleção de progênies de Euterpe oleracea na fase juvenil. *CERNE*, 18(3), 515-521.

Pereira, T. B., Carvalho, J. P. F., Botelho, C. E., Resende, M. D. V., Rezende, J. C., & Mendes, A. N. G. (2013). Eficiência da seleção de progênies de café F4 pela metodologia de modelos mistos (REML/BLUP). *Bragantia*, 72(3), 230-236.

Perina, E. F., Carvalho, C. R. L., Chiorato, A. F., Gonçalves, J. G. R., & Carbonell, S. A. M. (2010). Avaliação da estabilidade e adaptabilidade de genótipos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) baseada na análise multivariada da "performance" genotípica. *Ciência e Agrotecnologia*, 34(2), 398-406.

Resende, M. D. V. (2007). *SELEGEN-REML/BLUP: Sistema Estatístico e Seleção Genética Computadorizada via Modelos Lineares Mistos*. Paraná: Colombo, 1, 561.

Rodrigues, F., Von Pinho, R. G., Albuquerque, C. J. B., & Von Pinho, E. V. R. (2011). Índice de seleção e estimativa de parâmetros genéticos e fenotípicos para características relacionadas com a produção de milho-verde. *Ciência e Agrotecnologia*, 35(2), 278-286.

Rosado A. M., Rosado, T. B., Alves, A. A., Laviola, B. G., & Bhering, L. L. (2012) Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade, estabilidade e adaptabilidade. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47(7), 964-971.

Souza, P. H. N., Bastos, G. Q., Anunciação Filho, C. J., Dutra Filho, J. A., & Machado, P. R. (2012). Avaliação de genótipos de cana-de-açúcar para início de safra na Microrregião Centro de Pernambuco. *Revista Ceres*, 59(5), 677-683.

Teodoro, P. E., Barroso, L. M. A., Nascimento, M., Torres, F. E., Sagrilo, E., Santos, A., & Ribeiro, L. P. (2015). Redes neurais artificiais para identificar genótipos de feijão-caupi semiprostrado com alta adaptabilidade e estabilidade fenotípicas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50(11), 1054-1060.

Torres, F. E., Teodoro, P. E., Sagrilo, E., Ceccon, G., & Correa, A. M. (2015). Interação genótipo x ambiente em genótipos de feijão-caupi semiprostrado via modelos mistos. *Bragantia*, 74(3), 255-260.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Pedro Henrique Neves de Souza – 50%

Gerson Quirino Bastos – 40%

João de Andrade Dutra Filho – 10%