

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**PARÂMETROS GENÉTICOS EM FAMÍLIAS DE  
CRUZAMENTOS RECÍPROCOS DE CANA-DE-AÇÚCAR**

**Ana Carolina Ribeiro Guimarães  
Engenheira Agrônoma**

**2017**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**PARÂMETROS GENÉTICOS EM FAMÍLIAS DE  
CRUZAMENTOS RECÍPROCOS DE CANA-DE-AÇÚCAR**

**Ana Carolina Ribeiro Guimarães**

**Orientador: Prof. Dr. Dilermando Perecin**

**Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de  
Jaboticabal, como parte das exigências para  
a obtenção do título de Doutor em  
Agronomia (Genética e Melhoramento de  
Plantas)**

**2017**

G963p Guimarães, Ana Carolina Ribeiro  
Parâmetros genéticos em famílias de cruzamentos recíprocos de cana-de-açúcar / Ana Carolina Ribeiro Guimarães. – – Jaboticabal, 2017  
xiv, 60 p. : il. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017  
Orientador: Dilermando Perecin  
Banca examinadora: Luciana Rossini Pinto, Mauro Alexandre Xavier, Gabriela Aferrri, Maria Natália Guindalini Meloni.  
Bibliografia

1. Efeito recíproco. 2. Brix. 3. *Saccharum sp.* I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.52:633.61

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: PARÂMETROS GENÉTICOS EM FAMÍLIAS DE CRUZAMENTOS  
RECÍPROCOS DE CANA-DE-AÇÚCAR

**AUTORA: ANA CAROLINA RIBEIRO GUIMARÃES**

**ORIENTADOR: DILERMANDO PERECIN**

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA  
(GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. DILERMANDO PERECIN  
Departamento de Ciências Exatas / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Pesquisadora Dra. LUCIANA ROSSINI PINTO  
Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Cana / IAC - Ribeirão Preto/SP

Pesquisador Dr. MAURO ALEXANDRE XAVIER  
Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Cana / IAC - Ribeirão Preto/SP

Profa. Dra. GABRIELA AFERRI  
Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios / APTA / Jaú/SP

Pesquisadora Dra. MARIA NATÁLIA GUINDALINI MELLONI  
Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Cana / IAC / Ribeirão Preto/SP

Jaboticabal, 25 de julho de 2017

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

ANA CAROLINA RIBEIRO GUIMARÃES, nascida em 02 de dezembro de 1982 na cidade de Campinas – SP. Graduada engenheira agrônoma, no ano de 2007, pela Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP). Possui título de mestrado Ciências – Irrigação e Drenagem pela mesma universidade no ano de 2011. Atuou profissionalmente no setor de pesquisa de desenvolvimento de 2007 a 2013. Ingressou no curso de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Genética e Melhoramento de Plantas da FCAV/UNESP em 2013. Desenvolveu sua tese com enfoque em melhoramento de cana-de-açúcar, sendo bolsista pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

“Somos o que pensamos.

Tudo o que somos surge com nossos pensamentos.

Com nossos pensamentos,

Fazemos o nosso mundo. ”

Budha

## DEDICO

Aos meus companheiros de vida,  
Arthur Guimarães e Michel Moraes.

E aos meus amados pais,  
Urbano e Neiva Guimarães.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal por ter me possibilitado a realização desse curso.

Ao Centro de Cana IAC, em especial ao Dr. Marcos Landell e ao Dr. Mauro A. Xavier, pela oportunidade de realizar este trabalho.

Ao Professor Dr. Dilermando Perecin pela orientação, confiança, apoio e contribuições durante toda a etapa da realização deste trabalho.

À professora Luciana Rossini pelo auxílio e valiosas sugestões.

Aos docentes do curso de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas pelos conhecimentos compartilhados.

A todos os pesquisadores, técnicos e funcionários do Centro de Cana IAC pelo auxílio e dedicação em todas as atividades no campo experimental.

À minha médica Dra. Tânia Martinho pelo incentivo para a conclusão deste trabalho.

Às colegas Mariana Pelegrini e Isis Sebastião pelo companheirismo e amizade. E aos meus queridos amigos, Patrícia e Thiago Zacharias, Rafael e Rafaela Milani, Fernanda e Rogério Rossini, Hingrid e Diego Flório, Eduardo e Anelen Nunes pelo apoio e incentivo à conclusão deste trabalho.



## SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xi
<b>CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais.....</b>	<b>1</b>
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Importância da cultura de cana-de-açúcar.....	3
2.2. Melhoramento genético da cana-de-açúcar.....	4
2.3. Efeito materno em plantas.....	6
2.4. Modelos mistos no melhoramento genético.....	11
REFERÊNCIAS.....	15
<b>CAPÍTULO 2 - Avaliações fenotípicas em famílias de quatro pares de recíprocos em cana-de-açúcar.....</b>	<b>20</b>
1. INTRODUÇÃO.....	22
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
4. CONCLUSÕES.....	34
REFERÊNCIAS.....	35
<b>CAPÍTULO 3 - Melhores progênies, componentes da variância e herdabilidade em famílias de quatro pares de recíprocos de cana-de-açúcar.....</b>	<b>37</b>
1. INTRODUÇÃO.....	39
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	40
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
4. CONCLUSÕES.....	54
REFERÊNCIAS.....	55
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>57</b>

## PARÂMETROS GENÉTICOS EM FAMÍLIAS DE CRUZAMENTOS RECÍPROCOS DE CANA-DE-AÇÚCAR

**RESUMO** – O melhoramento genético tem contribuído com o setor sucroalcooleiro lançando cultivares mais produtivas, resistentes ou tolerantes às principais pragas e doenças da cultura, fazendo com que o Brasil consiga suprir sua demanda por açúcar e etanol. Poucos são os estudos acerca da importância relativa dos parentais na performance das progênies para os atributos de interesse econômico em cana-de-açúcar. Os objetivos deste trabalho foram verificar a influência de efeito recíproco para caracteres de importância agrônômica em cana-de-açúcar quanto ao número de colmos (InNC), brix e tonelada de biomassa por hectare (TBIOH) e avaliar 8 famílias de cana-de-açúcar pelo método de modelos mistos, destacando as famílias e progênies superiores para os atributos analisados. Quatro cruzamentos biparentais e seus recíprocos, gerando 8 famílias de irmãos completos e a testemunha IACSP95-5000, foram avaliados em delineamento de blocos casualizados, com 20 blocos. As predições das famílias mostraram variabilidade para número de colmos (InNC), brix e biomassa de touceira (BIO), o que permite seleção. Verificou-se a existência de efeitos maternos, paternos e interação entre eles para as características de brix e TBIOH. O parental feminino apresentou maior contribuição na determinação da performance do brix das progênies, porém, nem sempre o parental com alto teor de brix irá produzir progênie com performance superior. Entre os genótipos estudados, foi recomendada a utilização do parental feminino IACSP01-2419 e o parental masculino IACSP95-5000 para obtenção de progênies superiores quanto ao teor de sacarose (brix) e produtividade TBIOH. A cultivar RB966928 foi o parental masculino dos indivíduos com melhores valores de brix.

Palavras-chave: efeito recíproco, brix, biomassa, *Saccharum sp.*

## FAMILY GENETIC PARAMETERS OF FOUR RECIPROCAL CROSSES IN SUGARCANE

**ABSTRACT** – Sugarcane breeding has contributed to the sector, releasing varieties more productive, resistant or tolerant to major diseases and pests of the crop. The purpose of this study was to verify the influence of reciprocal effect to sugarcane agronomic traits: stalk number, brix and tonnes of biomass per hectare (TBIOH) and to evaluate eight sugarcane families by mixed model highlighting the superior families and progenies for the traits analyzed. Progenies from four biparental crosses and their reciprocal crosses were assessed in plant cane and first ratoon cane cycles. The experiment design used was completely randomized blocks, with 20 replications and 9 treatments (8 sugarcane families and a cultivated variety IACSP95-5000). Maternal, paternal and maternal x paternal interaction for the traits brix and TBIOH were observed. Significant reciprocal differences ( $P \leq 0.05$ ) were found for stalk number brix and TBIOH in both cane cycles. Half of the assessed reciprocal crosses showed favorable effects within the reciprocals ( $P \leq 0.10$ ) with a brix increase in the progeny means ranging from 0.9 to 1.7, using female parent IACSP98-2053. TBIOH showed significant effect within every reciprocal cross assessed in plant cane cycle. The predictions showed variability for stalk number, brix and biomass. The female parent IACSP01-2419 and the male parent IACSP95-5000 can be indicated as female parents to obtain individual progeny with higher brix content and TBIOH productivity. The commercial variety RB966928 was the male parent of 37% among the thirty best individuals for brix.

Keywords: reciprocal effect, biomass, brix, *Saccharum spp*

## LISTA DE FIGURAS

	Página
<b>CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS .....</b>	<b>01</b>
<b>Figura 1.</b> Diagrama mostrando os efeitos maternos e outras influências do fenótipo durante a geração da progênie. Linhas sólidas representam o efeito materno.....	07
<b>CAPÍTULO 2 – AVALIAÇÕES FENOTÍPICAS EM FAMÍLIAS DE QUATRO PARES DE RECÍPROCOS EM CANA-DE-AÇÚCAR .....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 1.</b> Diferença recíproca nas médias fenotípicas de brix para os quatro pares de recíprocos.....	28
<b>Figura 2.</b> Diferença recíproca nas médias fenotípicas de TBIOH para os quatro pares de cruzamentos recíprocos.....	30
<b>Figura 3.</b> Médias fenotípicas do efeito relativo ao parental feminino e masculino para o atributo brix.....	32
<b>Figura 4.</b> Médias fenotípicas do efeito relativo ao parental feminino e masculino para o atributo biomassa de touceira.....	33
<b>CAPÍTULO 3 - MELHORES PROGÊNIES, COMPONENTES DA VARIÂNCIA E HERDABILIDADE EM FAMÍLIAS DE QUATRO PARES DE RECÍPROCOS DE CANA-DE-AÇÚCAR.....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 1.</b> Diferença esperada predita (DEP) dos parentais para o atributo brix, com base na média dos anos.....	43
<b>Figura 2.</b> Diferença esperada predita (DEP) dos parentais para o atributo biomassa de touceira, com base na média dos anos.....	44
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>57</b>
<b>Apêndice 1.</b> Genealogia das cultivares de cana-de-açúcar utilizadas como parentais neste estudo.	58
<b>Apêndice 2.</b> Melhores indivíduos com base na DEP composta para os atributos brix e biomassa.....	59
<b>Apêndice 3.</b> Mapa de plantio e levantamentos.....	60

## LISTA DE TABELAS

	Página
<b>CAPÍTULO 2 – AVALIAÇÕES FENOTÍPICAS EM FAMÍLIAS DE QUATRO PARES DE RECÍPROCOS EM CANA-DE-AÇÚCAR .....</b>	<b>20</b>
<b>Tabela 1.</b> Famílias avaliadas, descrição dos cruzamentos recíprocos e parentais utilizados neste estudo.....	24
<b>Tabela 2.</b> Caracterização dos parentais para os principais parâmetros utilizados nos programas de melhoramento de cana-de-açúcar.....	25
<b>Tabela 3.</b> Análise de variância e médias fenotípicas para os quatro pares de cruzamentos recíprocos dos atributos número de colmos brix e TBIOH.	27
<b>Tabela 4.</b> Análise de variância dos efeitos relativos aos parentais femininos, masculinos e suas interações.....	
<b>CAPÍTULO 3 - MELHORES PROGÊNIES, COMPONENTES DA VARIÂNCIA E HERDABILIDADE EM FAMÍLIAS DE QUATRO PARES DE RECÍPROCOS DE CANA-DE-AÇÚCAR.....</b>	<b>37</b>
<b>Tabela 1.</b> Famílias avaliadas, descrição dos cruzamentos recíprocos e parentais utilizados neste estudo.....	40
<b>Tabela 2.</b> Estimativa dos componentes de variância e herdabilidade para os atributos avaliados de 4 cruzamentos de irmãos completos e seus recíprocos.....	45
<b>Tabela 3.</b> Porcentagens das melhores progênies de cada cruzamento em relação às 30 melhores de todo experimento, em função da diferença predita esperada obtida por modelo misto.....	46
<b>Tabela 4.</b> Identificação das 10 melhores progênies de todo experimento, em função da diferença predita esperada de brix e biomassa de touceira.....	47
<b>Tabela 5.</b> Melhores indivíduos para o atributo brix em cana-planta por família e em todo o experimento.....	49
<b>Tabela 6.</b> Melhores indivíduos para o atributo brix, em cana-soca, por família e em todo o experimento.....	50
<b>Tabela 7.</b> Melhores indivíduos para o atributo biomassa de touceira, em cana-planta, por família e em todo o experimento.....	51
<b>Tabela 8.</b> Melhores indivíduos para o atributo biomassa de touceira, em cana-soca, por família e em todo o experimento.....	52
<b>Tabela 9.</b> Melhores indivíduos para o atributo número de colmos, em cana-planta, por família e em todo o experimento.....	53

## **CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS**

### **1. INTRODUÇÃO**

A cana-de-açúcar é a terceira cultura temporária em termos de ocupação de área no Brasil. A área cultivada está estimada, na safra 16/17, em 9,1 milhões de hectares, com aumento de 5,3% se comparada com a safra 15/16. A produção de cana-de-açúcar possui estimativa de 694,54 milhões de toneladas, nesta safra 16/17, com crescimento avaliado em 4,4% em relação à safra anterior. Estima-se que a Região Sudeste, maior produtora nacional, será responsável por 61,6% do açúcar produzido no país. São Paulo, Minas Gerais, Paraná e Goiás deverão permanecer, nesta safra, como maiores produtores de açúcar (CONAB, 2016).

A adoção de novas cultivares por parte dos produtores tem sido apontada como grande responsável pela crescente expansão da cultura de cana-de-açúcar, visando sempre o incremento da produtividade (açúcar e álcool). No entanto, nos programas de melhoramento genético, as diferenças fenotípicas entre os melhores genótipos em avaliação têm sido cada vez mais difíceis de serem detectadas e por isso, novas metodologias vêm sendo desenvolvidas a fim de minimizar a interferência de fatores ambientais nos resultados da seleção.

A escolha dos genitores é a etapa inicial dos programas de melhoramento de cana-de-açúcar e o desenvolvimento de métodos que auxiliem nessa escolha podem aumentar a chance de produzir genótipos superiores em uma dada progênie (WU et al., 1980). No programa de melhoramento genético de cana-de-açúcar, a fase de seleção 1 (FS1: população segregante), em que os indivíduos são originários de “sementes” sexuadas – seedlings, apresenta a menor eficiência quando comparada com as demais etapas (BRESSIANI, 2001). A utilização de modelos mistos nesta fase de seleção pode contribuir para o aumento da eficiência ao predizer os valores genéticos ao invés dos fenotípicos.

Poucos estudos têm sido realizados no sentido de elucidar a importância dos parentais na determinação da performance das progênies para os principais atributos de interesse econômico em cana-de-açúcar. Dadas as implicações dos

efeitos genéticos dos cruzamentos (NATAJARAN, 1967) e também na melhor escolha dos genitores, estudos sobre o tema são de grande relevância aos programas de melhoramento genético da cultura.

A cana-de-açúcar possui ploidia complexa, dificuldades no processo de hibridação e falta de sincronismo de florescimento entre os genitores e, por isso, a avaliação de cruzamentos recíprocos tem sido utilizada para avaliar o papel dos genitores masculinos e femininos. Os pares de recíprocos têm contribuições genéticas nucleares semelhantes e qualquer diferença no desempenho entre os recíprocos pode ser atribuída ao efeito materno ou até mesmo paterno (HAYMAN, 1954; COCKERHAM e WEIR, 1977).

Os primeiros estudos concentram-se nas décadas de 50 e 60 nos países de Taiwan, Havaí e Índia. Esses estudos sugeriram a presença de efeito materno, baseada na interação dos genes nucleares com o citoplasma materno, para alguns atributos biométricos (vigor, número de colmos, altura e diâmetro dos perfilhos), morfológicos (comprimento e largura das folhas) e qualidade da matéria-prima (conteúdo de sacarose) (LOH e TSENG, 1950; RAGHAVAN e GOVINDASWAMY, 1956; NATAJARAN et al., 1967).

O parental feminino exerce um papel muito importante na herança de maturidade e conteúdo de sacarose, em termos de brix (HSU et al., 1995). Além disso, foi recomendada a utilização de parentais femininos com alto teor de sacarose para obtenção de progênes de alta qualidade (SHANTI et al. 2005).

Diante do exposto, podemos estabelecer a hipótese de que existem diferenças em pares de cruzamentos recíprocos de cana-de-açúcar em relação às médias fenotípicas dos caracteres de interesse agrônomo em cultivares brasileiras.

Sendo assim, os objetivos do presente trabalho foram:

- a) Verificar a influência de efeito recíproco para caracteres de importância agrônoma em cana-de-açúcar de número de colmos, brix e tonelada de biomassa por hectare nos cruzamentos entre alguns parentais utilizados no programa de melhoramento Cana IAC;
- b) Avaliar 8 famílias de cana-de-açúcar, oriundas de 4 cruzamentos biparentais e seus recíprocos, pelo método de modelos mistos e destacar as famílias e

progênies superiores para os atributos de número de colmos, toneladas de biomassa por hectare e brix.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Importância da cultura de cana-de-açúcar**

A introdução da cana-de-açúcar no Brasil remonta a época do descobrimento do país. Vinda da Ilha da Madeira o estabelecimento da cultura se deu por volta dos anos de 1515, na região Nordeste, sendo a implantação do primeiro engenho de cana-de-açúcar realizada em 1532 (CHEAVEGATTI-GIANOTTO, 2011).

A indústria da cana-de-açúcar tem recebido destaque dado o aumento no preço do petróleo devido ao esgotamento das fontes petrolíferas. O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, seguido pelos países Índia e China. Os principais produtos advindos do processamento industrial dessa cultura são o açúcar e o etanol.

O etanol possui destaque dentro do mercado brasileiro pela sua destinação múltipla: combustível de carros flexfuel, aditivo à gasolina e em indústrias de tintas, vernizes, solventes, entre outros componentes químicos.

Diante da relevância e do impacto ambiental positivo gerado a partir da utilização de fontes renováveis, a cana-de-açúcar tem possibilitado ao país ocupar posição de destaque no cenário da produção sustentável nacional e internacional (XAVIER, 2011). Nesse contexto, a busca por energia renovável promoveu o desenvolvimento da tecnologia do etanol de 2ª geração e os atributos como tipo e teor de fibra tornaram-se relevantes para os programas de melhoramento da cultura de cana-de-açúcar (SCORTECCI et al., 2012). Novas cultivares com elevada produção de biomassa, a chamada cana-energia, têm sido alvo dos programas de melhoramento genético da cultura (XAVIER, 2011).



A situação por demanda de açúcar é positiva, tanto no mercado externo quanto interno, devido a redução do estoque mundial decorrente de condições climáticas desfavoráveis nas regiões produtoras da Ásia e Europa no ano de 2016. Com este aumento de demanda e aumento dos preços de açúcar, estima-se uma tendência de aumento na produção nacional de açúcar na ordem de 18,9% na safra 17/18 (CONAB, 2016).

## **2.2. Melhoramento genético da cana-de-açúcar**

A ocorrência de inúmeras doenças na cultura de cana-de-açúcar, a partir de 1880, foi a grande responsável pelo desenvolvimento do melhoramento genético dessa cultura (LANDELL e BRESSIANI, 2008). Para minimizar os problemas de doenças, a estratégia adotada foi a de utilização de cruzamentos interespecíficos envolvendo espécies do complexo *Saccharum* (XAVIER, 2011).

As principais cultivares modernas de cana-açúcar são oriundas do cruzamento interespecífico das espécies *Saccharum officinarum* e *Saccharum spontaneum*. O cruzamento entre essas espécies teve como objetivo unir a habilidade da *S. officinarum* de acúmulo de sacarose às características da *S. spontaneum* de vigor, rusticidade, perfilhamento e tolerância à estresses. O desenvolvimento de algumas cultivares também teve a contribuição, em menores proporções, das espécies *S. sinense*, *S. barberi* e *S. robustum* (CHEAVEGATTI-GIANOTTO, 2011).

Os estudos genéticos nas cultivares atuais revelam 10 a 20% de cromossomos de *S. spontaneum*, 5 a 17% são recombinantes entre *S. spontaneum* e *S. officinarum* e o restante é composto por cromossomos de *S. officinarum* (D'HONT et al., 1998)

Para o estabelecimento e o sucesso de um programa de melhoramento, o maior número de informações a respeito da cultura alvo deve ser coletado. Assim, devem ser buscados dados como: o centro de origem da espécie, constituição

genética, biologia floral, tipos de reprodução e propagação, caracteres de interesse agrônomo, métodos de melhoramento compatíveis com a cultura, etc.

O gênero *Saccharum* possui dois centros de diversidade, com cerca de 35 a 40 espécies. As regiões da Ásia e África representam o primeiro centro de diversidade, com cerca de 25 espécies. E, as regiões nas Américas do Sul, Central e do Norte, o segundo centro com as espécies restantes. A África tem duas espécies nativas (CHEAVEGATTI-GIANOTTO et al., 2011). O centro de origem de *S. officinarum* provavelmente encontra-se na Polinésia e a disseminação da espécie se deu a partir do sudeste da Ásia, onde atualmente se localiza um moderno centro de diversidade em Papua, na Nova Guiné e Java, na Tailândia. Devido a sua rusticidade e adaptabilidade, *S. spontaneum* tem ampla ocorrência e pode ser encontrada em diversos países, que vão desde Filipinas, China, Japão a países do mediterrâneo. Contudo, o centro de origem está localizado, possivelmente, em regiões de clima mais temperado da Índia subtropical (DANIELS e ROACH, 1987).

Os programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar conduzidos em dezenas de países têm sido responsáveis, através de suas hibridações dirigidas, pelas mudanças ocorridas no ideótipo da cultura oferecendo a indústria sucroenergética uma nova concepção de matéria-prima (XAVIER, 2011).

O objetivo principal dos programas de melhoramento de cana-de-açúcar é desenvolver novas cultivares que ampliem a produtividade de energia, isto é, açúcar, álcool e fibra (LANDELL e BRESSIANI, 2008). Sendo assim, a característica mais importante dos programas de melhoramento genético da cultura é o aumento da produção de açúcar por unidade de área. Essa característica pode ser explorada, nos programas de melhoramento, por meio de duas estratégias: incremento do conteúdo de sacarose dos colmos (pol% cana, PCC) ou aumento da produtividade dos colmos (toneladas de cana por hectare, TCH).

Segundo Xavier (2011) outras características consideradas para uma nova cultivar são: rápida, vigorosa e prolongada brotação de soqueiras, tolerância à seca, hábito de crescimento ereto, ausência de florescimento e chochamento dos colmos, adaptabilidade para plantio e colheita mecanizada (SCORTECCI et al., 2012) e ser tolerante as principais doenças e pragas.

Evolutivamente as plantas foram selecionadas naturalmente quanto aos seus mecanismos de defesa à estresses, tanto de natureza abiótica quanto biótica, porém, essas estratégias de defesa deslocam recursos que poderiam ser destinados ao aumento de parâmetros produtivos.

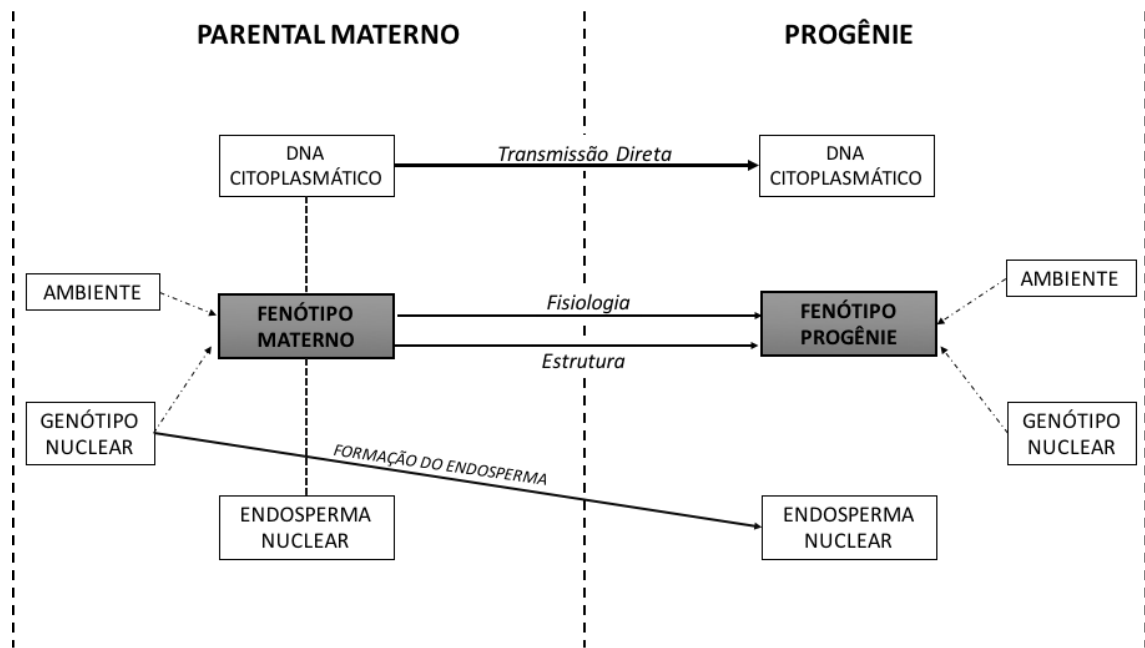
Os estresses bióticos são aqueles causados pelo ataque de pragas ou patógenos, que levam à formação de doenças. As principais doenças fúngicas na cana-de-açúcar são as ferrugens (marrom e alaranjada) e o carvão. Dentre as bacterioses são de grande importância o raquitismo-da-soqueira e a escaldadura das folhas. Entre as doenças virais temos destaque para o Mosaico e o “amarelinho”. A principal praga da cana-de-açúcar é a broca (*Diatraea saccharalis*) que, ao penetrar no colmo abrem galerias circulares ou longitudinais em direção ao palmito, causando danos a cultura. Além do secamento dos ponteiros, sintoma conhecido como coração morto, causam a inversão da sacarose, diminuindo sua concentração no caldo final. Outras pragas como a cigarrinha-das-raízes (*Mahanarva fimbriolata*), cigarrinha-das-folhas (*Mahanarva posticata*), *Sphenophorus* e o Migdolus (*Migdolus fryanus*) são pragas que causam danos e prejuízo significativo para a cultura (PINTO, BOTELHO, OLIVEIRA, 2009).

No melhoramento genético de cana-de-açúcar é adotado, principalmente, o sistema de seleção recorrente intrapopulacional (RESENDE e BARBOSA, 2006). Cada ciclo de melhoramento, com duração de 12 a 15 anos, é composto por: seleção de parentais para hibridação e recombinação, obtenção dos indivíduos recombinantes, seleção na população segregante e demais fases clonais (BRESSIANI, 2001; XAVIER, 2011).

### **2.3. Efeito materno em plantas**

A variação no fenótipo de um indivíduo pode ser determinada não só pelo genótipo e ambiente desse indivíduo, mas também pelos efeitos maternos, ou seja, a contribuição do parental materno para o fenótipo de sua progênie além da contribuição cromossômica esperada entre macho e fêmea. Pode-se distinguir três

diferentes classes de efeitos maternos: genética citoplasmática, nuclear endosperma e maternal fenotípica (Figura 1). Efeitos maternos podem ser de origem genética e não genética. A diferença genética advém do material contido nas mitocôndrias, cloroplastos ou plastos, que são organelas transmitidas pelo genitor feminino, para as gerações seguintes.



**Figura 1.** Diagrama mostrando os efeitos maternos e outras influências do fenótipo durante a geração da progênie. Linhas sólidas representam o efeito materno. Traduzido de ROACH e WULL, 1987.

A primeira classe dos efeitos maternos citoplasmáticos genéticos é derivada do fato que as organelas, tais como plastídios e mitocôndrias, podem ser diretamente transferidos da planta materna a sua descendência durante a formação e desenvolvimento do óvulo e, essa transmissão, é independente dos genes nucleares (ROACH e WULFF, 1987). Na formação do zigoto, o genitor materno é responsável pela doação do citoplasma, determinando assim o tamanho do zigoto (REINHOLD, 2002). Diversas características podem ser influenciadas por efeitos maternos, como por exemplo, o tamanho de sementes (BYERS, PLATENKAMP e SHAW, 1997).

A segunda classe de efeito materno em plantas se origina via endosperma (Figura 1). Durante o desenvolvimento das angiospermas, a fertilização múltipla usualmente resulta em um endosperma 3N com dois núcleos oriundos do parental feminino e apenas um do parental masculino (ROACH e WULFF, 1987). O endosperma contém importantes enzimas para a germinação e também é fonte de nutrientes para o desenvolvimento do embrião. Como consequência da dosagem diferencial dos genes entre fêmea e macho, o parental feminino pode apresentar um papel mais importante na determinação das características dessa fonte de nutriente (HARVEY e OAKS, 1974).

A terceira classe dos efeitos maternos é fenotípica, resultante do ambiente ou do genótipo do parental feminino. Essas influências podem ocorrer via estrutura ou fisiologia (Figura 1). Efeitos não genéticos ocorrem ao ambiente em que a planta mãe está inserida e podem ser determinantes na dormência das sementes, dispersão da sementes e atributos de germinação, e a variação nessas características podem influenciar o fenótipo adulto da sua progênie (WEINER et al., 1997; ROACH e WULFF, 1987).

A interação do compartilhamento de genes nucleares, fatores ambientais e extra cromossômicos são a causa das diferenças fenotípicas presentes em uma progênie. O efeito da interação ambiental pode estar correlacionado com o efeito materno.

Em estudos genéticos, os efeitos maternos são geralmente considerados como fonte de erros, por não apresentarem segregação mendeliana. A influência do efeito materno na resposta à seleção depende do tipo de efeito materno envolvido (ROACH e WULFF, 1987). Efeitos maternos ambientais aumentam o erro ambiental, reduzindo a resposta a seleção. Já os efeitos maternos citoplasmáticos ou nucleares maternos citoplasmáticos ampliam a variância genética, porém reduzem a resposta a seleção quando o caractere está exclusivamente sobre controle materno (VAN VLECK, 1976). O efeito materno tem como consequência a redução da precisão dos estudos genéticos, devendo ser considerada uma importante fonte de erro.

Um dos métodos utilizados na estimativa dos efeitos maternos, por meio de estudo genético, consiste na determinação das diferenças entre cruzamentos

recíprocos. Cruzamento recíproco é aquele em que o parental é usado ora como macho ora como fêmea. Por exemplo, o cruzamento AA x aa é recíproco do aa x AA (RAMALHO, 2000). Os pares de recíprocos têm contribuições genéticas nucleares semelhantes e, portanto, qualquer diferença no desempenho entre os recíprocos pode ser atribuída ao efeito materno ou paterno (HAYMAN, 1954; COCKERHAM e WEIR, 1977).

Embora existam informações consideráveis sobre a herança do conteúdo de sacarose em cana-de-açúcar, o efeito materno e o efeito dos diferentes parentais sobre essa característica têm sido pouco estudados.

Os primeiros relatos sobre a contribuição dos diferentes parentais na transmissão de conteúdo de sacarose foram realizados pelo programa de melhoramento de cana-de-açúcar em Taiwan (LOH e TSENG, 1950). Os autores encontraram diferenças significativas de 1,2 na média de brix entre o cruzamento F.108xT.A.12 e seu recíproco. Foi observado que o cultivar F.108 ao ser utilizado como parental feminino produziu 75,9% das progênes com alto teor de brix, entretanto, quando utilizado como parental masculino, produziu progênes com baixo teor de brix (43,2% das progênes brix>18). Os dados mostraram que a transmissão dos genes de vigor e de conteúdo de açúcar podem ocorrer de maneira diferente entre os parentais femininos e masculinos. Segundo os mesmos autores, os parentais podem ser classificados em cinco classes com base em seu comportamento em relação a transmissão de sacarose e vigor: 1) *Sucrose carriers* (carregadores de sacarose): são parentais com alto teor de sacarose e, na maioria das vezes, são cultivares comerciais; 2) *Vigour carriers* (carregadores de vigor): parentais vigorosos com colmos de menor diâmetro e, na maioria das vezes, não possuem valor comercial dado seu baixo teor de açúcar; 3) *Sucrose acceptors* (receptores de sacarose): parentais com teor de sacarose inferior as cultivares comerciais e, na maioria das vezes, não possuem valor comercial. Entretanto, possuem a habilidade de adicionar genes de sacarose ao outro parental e conseqüentemente, a progênie obtém uma dose cumulativa de genes de sacarose; 4) *Vigour acceptors* (receptores de vigor): os parentais desse grupo são geralmente cultivares comerciais, porém com qualidade de colmos inferiores; e 5) *Inert varieties* (cultivares inertes): geralmente cultivares comerciais ou com vigor vegetativo

especial. Dada a sua inércia, não transmitem seu conteúdo de sacarose ou de vigor à progênie e, por isso, possuem pouco valor dada sua baixa capacidade combinatória.

Em 1956, estudo do programa de melhoramento de cana-de-açúcar em Coimbatore, Índia, mostrou diferença significativa entre alguns cruzamentos e seus recíprocos (RAGHAVAN e GOVINDASWAMY, 1956). Foram avaliados 379 seedlings, em cruzamentos envolvendo P331xCo605 e P331xCo678 e seus recíprocos. Os autores observaram que 80% da progênie apresentaram o alto conteúdo de sacarose do parental feminino P331, com incremento para o teor de sólidos solúveis do caldo (brix) entre 0,9 e 1,4. O parental feminino Co605 contribuiu para a alta produtividade da progênie suportando, portanto, a existência de efeito materno citoplasmático. Os dados sugerem a presença de efeito materno baseada na interação dos genes com o citoplasma materno em alguns parâmetros biométricos (número de colmos, altura e diâmetro dos perfilhos), no parâmetro econômico de conteúdo de sacarose no caldo (brix), além de parâmetros morfológicos (comprimento e largura das folhas).

O efeito relativo dos parentais para algumas características econômicas de cana-de-açúcar foi estudado através da avaliação de cinco famílias e seus recíprocos (NATARAJAN, 1967). Os resultados mostraram indicações de efeito materno na performance de progênies para os parâmetros número de perfilhos, peso dos colmos e conteúdo de sacarose. Os autores encontraram diferenças significativas de 1,6 a 2,1 na média de brix entre os cruzamentos e seus recíprocos, indicando que a contribuição dos parentais femininos e masculinos não é similar na determinação da performance da progênie.

O efeito recíproco foi altamente significativo para alguns parâmetros biométricos (número de colmos, volume de planta, diâmetro e comprimento dos colmos) no estudo realizado em esquema dialelo com cinco cultivares comerciais de cana-de-açúcar no Hawaí (WU et al., 1980). Embora os resultados mostraram efeito não significativo para conteúdo de sacarose (brix), três progênies (P5xP2, P5xP3 e P1xP4) apresentaram média de brix superior ao seu recíproco de, respectivamente, 0,78, 0,55 e 0,99.

Amostras aleatórias de 1882 seedlings de cana-de-açúcar oriundas de 63 cruzamentos entre 53 parentais contrastantes em maturidade e conteúdo de sacarose foram utilizadas no estudo conduzido pelo Instituto de Pesquisa em Cana-de-açúcar de Taiwan (HSU, HOUR e WANG, 1995). Os resultados mostraram que o parental feminino exerce um papel muito importante na herança de maturidade e conteúdo de sacarose, em termos de brix. Segundo os autores, deve-se optar pela utilização de parentais com alto teor de sacarose e maturação precoce como fêmea, visando a obtenção de progênes superiores.

Em 2005, estudo sobre o papel do parental feminino na herança de brix nos estágios iniciais do programa de melhoramento de cana-de-açúcar foi conduzido na Índia (SHANTI et al. 2005). Nesse estudo 1859 seedlings foram avaliados em 30 cruzamentos biparentais e os resultados indicaram a utilização de parentais femininos com alto teor de sacarose para obtenção de progênes de alta qualidade.

#### **2.4. Modelos mistos no melhoramento genético de cana-de-açúcar**

No melhoramento de cana-de-açúcar, o número de indivíduos superiores em uma progênie é muito importante dado o alto número de famílias a serem testadas. No entanto, a seleção massal é frequentemente praticada sem a utilização de informações sobre as famílias (MATSUOKA et al., 2005). O efeito genotípico da família não tem sido efetivamente usado como guia para a seleção individual, resultando na aplicação de intensidade de seleção moderada a fraca tanto na seleção massal dentro quanto entre famílias (RESENDE e BARBOSA, 2006).

A seleção de famílias por meio de modelos mistos é uma estratégia importante para identificar famílias com elevados valores genotípicos, com maior probabilidade de seleção de clones potenciais (OLIVEIRA et al., 2008).

Para se caracterizar um modelo como misto, o mesmo deve possuir um ou mais efeitos fixos, além da média geral, e um ou mais efeitos aleatórios, além do erro experimental. O modelo misto possibilita modelar, simultaneamente, os efeitos fixos e aleatórios. Assim, é possível obter estimativas para os efeitos fixos e



predições para os efeitos aleatórios (RESENDE, 2005). Dessa forma, os tratamentos ou genótipos, no caso de experimentos de competição de cultivares, podem ser considerados como fator fixo ou aleatório, dependendo da interpretação do pesquisador.

Os efeitos ambientais podem ser considerados fixos ou aleatórios, enquanto os efeitos genéticos ou de tratamentos normalmente são considerados como aleatórios. Com isso, há a possibilidade de extrapolar os valores de uma amostra (variância e média) como sendo de toda uma população. Outra vantagem refere-se à produção de predições mais acuradas, principalmente, quando existem dados perdidos. Isso porque as predições são conduzidas em direção à média geral, obtendo valores genéticos e não fenotípicos (CANDIDO, 2009).

A implementação em sistemas estatístico-computacionais de ampla divulgação como o SAS<sup>®</sup> tem tornado acessível a utilização da metodologia pelos usuários (DUARTE, VENCOVSKY e DIAS, 2001 *apud* CANDIDO, 2009). O procedimento MIXED são é considerado o de maior flexibilidade para análise de modelos mistos e estimação de componentes de variância (MONTEBELO, 1997).

O procedimento BLUP (melhor predição linear não viesada) foi desenvolvido por Henderson, em 1949, no contexto de modelos mistos, com a finalidade de prever valores genéticos de animais sob condições de desbalanceamento nos dados. Contudo, existem aplicações no melhoramento genético vegetal: a) permitir a estimação e predição não viesadas em um procedimento único; b) poder levar em conta efeitos de seleção e endogamia ao longo das gerações, desde que o grau de parentesco entre os indivíduos avaliados seja conhecido; c) a correlação entre os valores genéticos verdadeiros e os preditos ser máxima dentre as classes de preditores lineares não viesados; d) poder prever o valor genético dos indivíduos observados ou não; e) as variâncias e os erros das predições BLUP serem menores em relação a outros métodos; f) possuir o menor erro quadrático médio dentre todos os preditores lineares não viesados (WHITE e HODGE, 1989).

Para que o BLUP detenha as propriedades acima citadas é necessário que os componentes de variância genéticos e não genéticos sejam conhecidos, devendo ser estimados por algum método. O método da máxima verossimilhança restrita (REML) tem sido rotineiramente utilizado para estimar componentes de variância em

modelos mistos. Assim, de acordo com Resende (2004), o BLUP é o procedimento ótimo na predição de valores genéticos e o REML, na estimação de componentes de variância.

Duarte, Vencovsky e Dias (2001) avaliaram quatro procedimentos de estimação de componentes de variância visando a predição de valores genéticos: análise de variância (ANOVA), máxima verossimilhança (ML), máxima verossimilhança restrita (REML) e MIVQUE(0) (estimador quadrado não viesado de variância mínima) no delineamento de blocos aumentados com tratamentos adicionais (progênies) de uma ou mais procedências (cruzamentos). Os autores concluíram sobre a superioridade relativa do método MIVQUE(0): a) na estimativa da variância do erro ambiental; b) na estimação da variância genética similar ao REML e c) cálculos computacionais mais simples que o REML.

Xavier (2014) estimou os parâmetros genéticos em 48 progênies de cana-de-açúcar e encontrou concordância perfeita de ordenação entre preditores dos métodos REML e MIVQUE(0).

Isso faz com que a avaliação genética pelos modelos mistos seja um instrumento mais eficaz que o da avaliação partindo de estimativas pelo método dos mínimos quadrados, para seleção de genitores, famílias e clones, com o uso da informação da própria entidade ou de aparentados, avaliados no mesmo ou em diferentes locais, épocas ou gerações (RESENDE, 1999).

Variações do método BLUP estão sendo utilizados como ferramenta de seleção nos programas de melhoramento da cana-de-açúcar. Um deles é o chamado método BLUPIS (best linear unbiased prediction individual simulated) que se processa em duas etapas, a primeira é a realização da seleção das melhores famílias (aquelas com melhor predição linear preconcebida  $[BLUP] > 0$ ), em seguida identificam-se as melhores plantas dentro dessas famílias. Essa estratégia seleciona as famílias com valores acima da média geral, seguido de uma simulação do número de plantas a serem selecionadas por família. Brasileiro et al. (2016) concluíram que essa metodologia poderia ser utilizada como prática de rotina nos programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar.

O método BLUPIS auxiliam a seleção de progênies promissoras nas fases iniciais dos programas de melhoramento de cana. Assim, a possibilidade de se

selecionar clones com grande probabilidade de avanços em gerações mais tardias do programa é aumentada com o uso desta metodologia (LUCIUS, et al., 2014).

Os programas de melhoramento com avaliação de progênes de cana-de-açúcar geram, rotineiramente, uma série de dados desbalanceados. E nessas condições o modelo do BLUP ajusta-se perfeitamente. O método BLUP permite a combinação de diversos dados, gerados a partir de diferentes modelos de cruzamento, diferentes genitores e diferentes parâmetros em um único índice utilizado na seleção de características e genótipos (KIMBENG e COX, 2003).

O BLUP é uma ferramenta poderosa na predição da performance de cruzamento na avaliação de progênes/famílias de cana-de-açúcar. Chang e Milligan (1992) relataram pela primeira vez a confiabilidade do método BLUP na predição de cruzamentos potenciais para a geração de progênes elites de cana-de-açúcar.

Segundo Brasileiro et al. (2013) em experimentos com famílias de irmãos completos, onde os dados não estavam balanceados, devido à participação dos pais nos cruzamentos não ser equitativa, as estimativas obtidas por modelos mistos (REML / BLUP) foram mais precisas que as correlações estimadas pela análise de variância.

A finalidade do uso da metodologia dos modelos mistos é selecionar com maior exatidão progênes que levarão ao desenvolvimento de novas cultivares de cana-de-açúcar. Dessa forma, o BLUP é utilizado como ferramenta estatística em programas com diferentes objetivos, desde aqueles que priorizam selecionar genótipos com boas características produtivas (ELLIS et al., 2001), até programas voltados para a obtenção de genótipos com maior potencial para produção de etanol de segunda geração (BAFFA et al., 2014), ou ainda checar o desenvolvimento de progênes de cana em qualquer estágio dentro do programa de melhoramento (LUCIUS, et al., 2014).

## REFERÊNCIAS

BAFFA, D.C.F.; De A. COSTA, P. M.; Da SILVEIRA, G.; LOPES, F.J.F.; BARBOSA, M.H. P.; LOUREIRO, M. E.; CRUZ, C. D.; PETERNELLI, L. A. Path Analysis for Selection of Saccharification-Efficient Sugarcane Genotypes through Agronomic Traits. **Agronomy Journal**, v. 106, n. 5, p.1643-1650, 2014

BRASILEIRO, B.P.; PETERNELLI, L. A.; BARBOSA, M.H.P. Consistency of the results of path analysis among sugarcane experiments. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.13, p.113-119, 2013.

BRASILEIRO, B.P.; De PAULA MENDES, T.O.; PETERNELLI, L. A.; Da SILVEIRA, L.C.I.; De RESENDE, M.D.V.; BARBOSA, M. H. P. Simulated Individual Best Linear Unbiased Prediction versus Mass Selection in Sugarcane Families. **Crop Science**, v. 56, p. 1-6, 2016.

BRESSIANI, J.A. **Seleção Sequencial em cana-de-açúcar**. Piracicaba: 2001. 159f. Tese (Doutorado em Agronomia), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queirox, Universidade de São Paulo.

BYERS, D.L.; PLATENKAMP, G.A.J.; SHAW, R.G. Variation in seed characters in *Nemophila menziesii*: evidence of a genetic basis for maternal effect. **Evolution**, v. 5, n. 5, p.1445-1456, 1997.

CANDIDO, L. S. **Modelos mistos na avaliação e ordenação de genótipos de cana-de-açúcar, com e sem efeitos de competição com parcelas vizinhas**. 2009, 76p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal.

CHANG, Y.S.; MILLIGAN, S.B. Estimating the potencial of sugarcane families to produce elite genotypes using bivariate methods. **Theoretical and Applied Genetics**, v.84, p. 662-671, 1992.

CHEAVEGATTI-GIANOTTO, A.; DE ABREU, H. M. C.; ARRUDA, P.; et al. Sugarcane (*Saccharum X officinarum*): A reference study for the regulation of genetically modified cultivars in Brazil. **Tropical Plant Biology**, v.4, n.1, p.62-89, 2011.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira: Cana-de-açúcar**, v. 3, n. 3. Brasília: CONAB, 2016. 74p.

D'HONT, A.; ISON, D.; ALIX, K.; ROUX, C.; GLASZMANN, J.C. Determination of basic chromosome numbers in the genus *Saccharum* by physical mapping of ribosomal RNA genes. **Genome**, v. 41, p. 221–225, 1998.

DANIELS, J.; ROACH, BT. Taxonomy and evolution. *In*: HEINZ, D.J.(ed) **Sugarcane improvement through breeding**. Amsterdam: Elsevier, v.11, p. 7–84, 1987.

DUARTE, J. B.; VENCOVSKY, R.; DIAS, C. T. S. Estimadores de componentes de variância em delineamento de blocos aumentados com tratamentos novos de uma ou mais populações. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 9, P. 1155-1167, 2001.

ELLIS, R. N.; BASFORD, K. E.; COOPER, M.; LESLIE, J. K.; BYTH, D. E. A methodology for analysis of sugarcane productivity trends. I. Analysis across districts. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 52, n.10, p. 1001 – 1009, 2001.

HARVEY, B.M.R.; OACKS, A. The hydrolysis of endosperm protein in *Zea Mays*. **Plant Physiology**, v.53, n.3, p. 453-457, 1974. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.53.3.453>

HAYMAN, B. I. The Analysis of Variance of Diallel Tables. **Biometrics**, v.10, n.2, p.235-244, 1954.

HENDERSON, C. R. Estimation of changes in herd environment. **Journal of Dairy Science**, v. 32, p. 709, 1949.

HSU, S.Y.; HOUR, A.L.; WANG, T. H. Heritability and modes of inheritance of brix in sugarcane seedlings. **Proceedings ISSCT**, n. 22, p. 286-291, 1995.

KIMBENG, C.A.; COX, M.C. Early generation selection of sugarcane families and clones in Austrailia: A review. **Journal American Society of Sugarcane Technologists**, v. 23, p. 20-39, 2003.

LANDELL, M.G.A.; BRESSIANI, J.A. Melhoramento genético, caracterização e manejo varietal. *In*: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, 2008, p.99-159.

LOH, C. S.; TSENG, P. M. Notes on sugarcane nobilization. **Proceedings ISSCT**, n. 7, p. 254-256, 1950.

LUCIUS, A.S. F.; De OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E.; ZAMBON, J.L.C.; BESPALHOK FILHO, J. C.; M. VERISSIMO, A. A.O. Desempenho de famílias de cana-de-açúcar em diferentes fases no melhoramento genético via REML/BLUP. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 1, p. 101-112, 2014

MATSUOKA, S.; GARCIA, A.A.F.; ARIZONO, H. Melhoramento da cana-de-açúcar. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: UFV, 2005. p.255-274.

MONTEBELO, M. I. L. **Modelos lineares de efeitos mistos: formulação geral e utilização de alguns sistemas computacionais estatísticos**. 1997. 173 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

NATARAJAN, B. V.; KRISHNAMURTHY, T. N.; THULJARAM RAO, J. Relative effects of parents on some economic characters in sugarcane. **Euphytica**. v.16, n. 1, p. 104-108, 1967.

OLIVEIRA, R.A.; DAROS, E.; BESPALHOK-FILHO, J.C.; ZAMBON, J.L.C.; IDO, O.T.; WEBER, H.; RESENDE, M.D.V.; ZENI-NETO, H. Seleção de famílias de cana-de-açúcar via modelos mistos. **Scientia Agraria**, v. 9, p.269-274, 2008.

PINTO, A. de S.; BOTELHO, P. S. M.; OLIVEIRA, H. N. de. **Guia ilustrado de pragas e insetos benéficos da cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2009.

RAGHAVAN, T. S.; GOVINDASWAMY, S. Sugarcane as material for genetic studies. **Proceedings ISSCT**, n. 9, p. 667-694, 1956.

RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B.; PINTO, C.A.B.P. **Genética na agropecuária**. 2 ed. revista e ampliada. Lavras: UFLA, 2000. 472p.

REINHOLD, K. Maternal Effects and the Evolution of Behavioral and Morphological Characters: A Literature Review Indicates the Importance of Extended Maternal Care. **The Journal of Heredity**, v. 93, n.6, p. 400-405, 2002.

RESENDE, M. D. V. de. **Predição de valores genéticos, componentes de variância, delineamentos de cruzamento e estrutura de populações no melhoramento florestal**. 1999. 434 f. Tese (Doutorado em Genética) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

RESENDE, M. D. V. de. **Métodos estatísticos ótimos na análise de experimentos de campo**. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. 65 f. (Documentos, 100).

RESENDE, M. D. V. de. Métodos estatísticos ótimos na análise de experimentos de campo no melhoramento de plantas. In: **SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADO À EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA**, n.11, 2005, Londrina.

RESENDE, M. D. V., BARBOSA, M. H. P. Selection via simulated individual BLUP based on Family genotypic effects in sugarcane. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 3, p.421-429, 2006.

ROACH, D. A.; WULFF, R. D. Maternal effects in plants. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 18, p. 209-235, 1987. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.18.110187.001233>

SCORTECCI, K.C; CRESTE, S.; CALSA JR, T.; XAVIER, M.A.; LANDELL, M.G.A; FIGUEIRA, A.F.; BENEDITO, V.A. Challenges, Opportunities and Recent Advances in Sugarcane Breeding. In: ABDURAKHMONOV, I.(ed.) **Plant Breeding**. InTech, Rijeka, Croatia, pp 267–296, 2012.

SHANTI, R. M.; ALARMELU, S.; BALAKRISHNAN, R. Role of female parent in the inheritance of brix in early selection stages of sugarcane. **Sugar Tech**, v. 7, n. 2-3, p. 39-43, 2005.

VAN VLECK, L. D. Selection for direct, maternal and grandmaternal genetic components of economics traits. **Biometrics**, v. 32, p. 173-181, 1976.

WEINER, J.; MARTINEZ, S.; MÜLLER-SCHÄRER, H.; STOLL, P.; SCHIMID, B. How important are environmental maternal effects in plants? A study with *Centaurea maculosa*. **Journal of Ecology**, v. 85, p. 133-142, 1999.

XAVIER, M. A. **Ponto de mérito de família, parâmetros genéticos e Identificação de genitores masculinos em policruzamentos de cana-de-açúcar.** 2011, 80p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal.

XAVIER, M. A.; PERECIN, D.; ALVIM, K. R. T.; LANDELL, M. G. A.; ARANTES, F. C. Seleção de famílias e progênies de irmãos completos de cana-de-açúcar para atributos tecnológicos e de produção pelo método de REML/BLUP. **Bragantia**, v. 73, n.3, p. 253-262, 2014.

WHITE, T. L.; HODGE, G. R. **Predicting breeding values with applications in forest tree improvement.** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1989, 363p.

WU, K.K.; HEINZ, D. J.; MEYER, H. K.; LADD, S. L. Combining ability and Genitor Evaluation in Five Selected Clones of Sugarcane (*Saccharum* sp. Hybrids). **Theoretical and Applied Genetics (TAG)**, v. 56, n. 6, p.241-244, 1980.



## CAPÍTULO 2 - AVALIAÇÕES FENOTÍPICAS EM FAMÍLIAS DE QUATRO PARES DE RECÍPROCOS EM CANA-DE-AÇÚCAR

**RESUMO** – A avaliação de progênies nos programas de melhoramento de cana-de-açúcar é utilizada como forma de auxiliar a escolha de parentais para obtenção de genótipos superiores. O objetivo deste trabalho foi verificar a influência de efeito recíproco para caracteres de importância agrônômica em cana-de-açúcar: número de colmos (InNC), brix e tonelada de biomassa por hectare (TBIOH). As progênies de quatro cruzamentos biparentais e seus recíprocos foram avaliadas, em delineamento blocos casualizados contendo 9 tratamentos (oito famílias e a cultivar testemunha IACSP95-5000), em ciclo de cana-planta e cana-soca. O efeito recíproco foi significativo ( $P \leq 0,05$ ) para InNC, brix e TBIOH em todos os ciclos avaliados. Metade dos pares de cruzamentos avaliados demonstrou efeito favorável dentro dos recíprocos ( $0,5 < P \leq 0,10$ ) com incremento de brix na média das progênies entre 0,9 a 1,7 devido a utilização do parental feminino IACSP98-2053. TBIOH apresentou efeito significativo dentro de todos os recíprocos avaliados no ciclo de cana-planta. O presente estudo evidenciou a existência de efeitos maternos, paternos e interação entre eles, na determinação da performance das progênies para brix e TBIOH, através das diferenças obtidas nos cruzamentos recíprocos. O parental feminino apresentou maior contribuição na determinação da performance do brix das progênies, porém, nem sempre o parental com alto teor de brix irá produzir progênie com performance superior. Entre os genótipos estudados foi recomendada a utilização do parental feminino IACSP01-2419 e o parental masculino IACSP95-5000 para obtenção de progênies superiores quanto ao teor de sacarose (brix) e produtividade TBIOH.

**Palavras-chave:** biomassa, brix, número de colmos, efeito recíproco, *Saccharum spp.*

## FAMILY PHENOTYPIC EVALUATION OF FOUR RECIPROCAL CROSSES IN SUGARCANE

**ABSTRACT** – Progeny performance evaluation in sugarcane breeding programs has been suggested to assist the choice of parents that provide superior individuals. The present work was aimed to assess reciprocal effects in sugarcane crosses for important agronomic traits: number of stalks, brix and tons of biomass per hectare (TBIOH). Progenies from four biparental crosses and their reciprocal crosses were assessed in plant cane and first ratoon cane cycles. The experiment design used was completely randomized blocks, with 20 replications and 9 treatments (8 sugarcane families and a cultivated variety IACSP95-5000). Significant reciprocal differences ( $P \leq 0.05$ ) were found for stalk number brix and TBIOH in both cane cycles. Half of the assessed reciprocal crosses showed favorable effects within the reciprocals ( $P \leq 0.10$ ) with a brix increase in the progeny means ranging from 0.9 to 1.7, using female parent IACSP98-2053. TBIOH showed significant effect within every reciprocal cross assessed in plant cane cycle. The female parent IACSP01-2419 and the male parent IACSP95-5000 can be indicated as female parents to obtain individual progeny with higher brix content and TBIOH productivity.

**Keywords:** biomass; brix; number of stalks; reciprocal effect; *Saccharum spp*

## 1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar possui grande importância no cenário econômico e social brasileiro, sendo a terceira cultura temporária em termos de ocupação de área, com estimativa de área cultivada de 9,1 milhões de hectares para a safra 16/17 e crescimento de 5,3% comparado a safra anterior (CONAB, 2016). Esse crescimento se deve em parte à eficiência dos programas de melhoramento que têm concentrado esforços para o lançamento de novas cultivares com características agrônomicas que atendam à demanda do setor sucroalcooleiro.

No entanto, a complexidade genética da cana-de-açúcar decorrente de seu alto nível de poliploidia e aneuploidia, com cerca de 100 - 130 cromossomos, aliada à natureza multigênica e/ou multialélica da maioria dos caracteres agrônomicos, tem dificultado parcialmente o melhoramento genético desta cultura (GRIVET, GLASZMANN, ARRUDA, 2001).

O melhoramento genético da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) tem início na escolha dos parentais e obtenção de sementes a partir do processo de hibridação (XAVIER, 2011). As chances de se produzir híbridos superiores em uma dada progênie depende da escolha dos parentais e, por isso, é necessário o desenvolvimento de métodos que auxiliem nessa escolha (WU et al., 1980).

Cruzamentos recíprocos são muito utilizados para avaliar diferenças nas escolhas entre os parentais feminino e masculino. Nos cruzamentos recíprocos possíveis influências podem ocorrer devido ao efeito materno, de base genética ou não-genética. O efeito adicional materno pode ser explicado pela ação de genes do citoplasma e pela interação de genes do citoplasma e do núcleo (EVANS e KERMICLE, 2001; WU e MATHESON, 2001).

A existência de efeitos recíprocos tem implicações nos efeitos genéticos dos cruzamentos e na melhor escolha dos parentais (MUKANGA et al., 2010; FAN et al., 2014).

Para culturas que contemplam genitores que se cruzam simultaneamente o esquema dialelo é indicado como metodologia de estudo do efeito materno (COCKERHAM e WEIR, 1977; WU e MATHESON, 2001; ZHANG et al., 2005). No entanto, em cana-de-açúcar, os cruzamentos recíprocos têm sido utilizados como

metodologia de avaliação do efeito materno, dado o difícil processo de hibridação e ausência de sincronismo de florescimento entre os parentais avaliados. Os pares de recíprocos têm contribuições genéticas nucleares semelhantes e qualquer diferença no desempenho entre as progênies dos recíprocos pode ser atribuída ao efeito materno ou até mesmo paterno (HAYMAN, 1954; COCKERHAM e WEIR, 1977).

O vigor e o conteúdo de sacarose de cana-de-açúcar podem estar ligados ao parental feminino (LOH e TSENG, 1950). As características agronômicas (número de colmos, conteúdo de sacarose, altura e diâmetro de colmos) e características morfológicas (largura e comprimento de folhas) mostraram diferenças significativas em alguns cruzamentos recíprocos de cana-de-açúcar (RAGHAVAN e GOVINDASWAMY, 1956). Esses autores atribuem essas diferenças ao efeito materno baseado na interação dos genes nucleares com o citoplasma materno.

A influência materna na performance das progênies para os atributos número de colmos, altura de colmos e brix foi observada por Natarajan et al. (1967) em estudo baseado nas diferenças entre cruzamento e seu recíproco em cana-de-açúcar.

Shanti et al. (2005) realizou estudo sobre o papel do parental feminino na herança de brix nos estágios iniciais do programa de melhoramento de cana-de-açúcar na Índia. Nesse estudo 1859 seedlings foram avaliados em 30 cruzamentos biparentais e os resultados indicaram a utilização de parentais femininos com alto teor de sacarose para obtenção de progênies de alta qualidade.

O objetivo deste trabalho foi verificar a existência de efeito recíproco em quatro cruzamentos e seus recíprocos obtidos pelo programa de melhoramento de Cana do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) para alguns atributos de importância agrônômica na cultura.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram escolhidos quatro cruzamentos biparentais e seus recíprocos, gerando 8 famílias de irmãos completos, conforme a Tabela 1. Os cruzamentos foram escolhidos, pelo Programa Cana IAC, em função de experiência anteriores e por critérios de divergência genética molecular. Alguns parentais são cultivares comerciais e outros clones disponíveis no banco de genitores do programa Cana IAC.

**Tabela 1.** Famílias avaliadas, descrição dos cruzamentos recíprocos e parentais utilizados neste estudo.

Família	Recíproco	PF	PM
250	R1	IACSP98-2053	IACSP01-2419
251	R1	IACSP01-2419	IACSP98-2053
285	R2	IACSP95-5000	RB855453
286	R2	RB855453	IACSP95-5000
287	R3	RB966928	IACSP04-1119
288	R3	IACSP04-1119	RB966928
335	R4	RB855453	IACSP98-2053
336	R4	IACSP98-2053	RB855453

PF: parental feminino; PM: parental masculino; R1: famílias 250 e 251; R2: famílias 285 e 286; R3: famílias 287 e 288; R4: famílias 335 e 336

O experimento foi instalado na unidade experimental do Centro de Cana do Instituto Agrônomo – IAC em Ribeirão Preto, SO, em delineamento blocos casualizados contendo 9 tratamentos (8 famílias e 1 testemunha), com 20 blocos. As parcelas foram constituídas inicialmente por 14 plantas espaçadas de 1,5m entre linhas e 0,5m entre plantas, dispostas em 2 sulcos de 3,5m de comprimento, totalizando inicialmente 280 progênies diferentes por família. A cultivar comercial IACSP95-500 foi utilizada como bordadura e, em cada bloco, como testemunha.

As famílias originaram-se dos cruzamentos da série de hibridação 2013 do Instituto Agrônomo de Campinas, realizadas na Estação Experimental de Cruzamento do Programa Cana IAC (Serra Grande/BA) durante os meses de maio a julho de 2013. Os *seedlings* foram produzidos no Centro de Cana IAC, em Ribeirão Preto, durante os meses de outubro e novembro de 2013 e transplantados para o

campo em março de 2014. Os tratos culturais foram efetivados ao longo dos ciclos de cultivo seguindo os procedimentos tradicionais de adubação, controle de plantas daninhas e demais operações.

A caracterização desses parentais foi realizada por meio de seu desempenho nos ensaios da rede de experimentação do Programa Cana IAC (Tabela 2).

**Tabela 2.** Caracterização dos parentais para os principais parâmetros utilizados nos programas de melhoramento de cana-de-açúcar.

	Parental	POL	TCH	TPH	Carvão	Ferrugens	Escaldadura	Mosaico
P1	IACSP95-5000	MA	A	A	R	R	R	R
P2	IACSP98-2053	MA	MA	MA	S	R	R	R
P3	IACSP012419	MB	M	M	S	R	R	R
P4	IACSP04-1119	M	A	A	-	-	S	R
P5	RB855453	A	MA	MA	R	I	R	R
P6	RB966928	A	A	A	I	R	R	R

POL: pol % cana; TCH: tonelada de cana por hectare; TPH: toneladas de pol por hectare; A: alto; MA: médio alto; M: médio; MB: médio baixo; R: resistente; I: intermediário; S: susceptível.

A colheita da cana-planta foi realizada 14 meses após o plantio, em maio de 2015 e, de cana-soca, aproximadamente 12 meses após o primeiro corte em maio de 2016. Os seguintes atributos agrônômicos foram avaliados:

- a) Brix: expresso em % caldo da cana, determinado pela leitura simples do caldo de um colmo por indivíduo com o auxílio de um refratômetro de campo ATAGO tipo N-IE. A amostragem do caldo foi realizada no colmo representativo da touceira, na transição entre o terço inferior e terço médio, no momento da colheita, nos ciclos de cana-planta e cana-soca.
- b) Número de colmos (InNC): expressa em log neperiano (número de colmos +1), obtido pela contagem do número total de colmos por touceira de cada indivíduo, no ciclo de cana-planta, aos 8 meses após o plantio. A avaliação de número de colmos não foi realizada no ciclo de cana-soca em decorrência do tombamento do experimento devido a ventos fortes, muito comum na região.

- c) Biomassa: expressa em kg/touceira, em que as plantas foram pesadas individualmente (toda a parte aérea, colmos sem desponte), realizada em ciclo de cana-planta e cana-soca, por ocasião da colheita.
- d) Toneladas de biomassa por hectare (TBIOH): estimativa de produção obtida pela extrapolação dos valores de biomassa individual para 1 hectare segundo a equação  $TBIOH = biomassa \times (6,667/0,4)$ , considerando-se que cada touceira ocupava 0,4 m linear (XAVIER, 2014).

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software SAS® 9.3 (SAS Institute, 2013), pelo procedimento PROC GLM. As médias foram ajustadas em função da testemunha IACSP95-5000 comum em todos os blocos e avaliadas pelo teste T (LSD, 5% e 10%). No SAS, os modelos foram escritos em duas etapas, conforme a seguir:

#### ETAPA 1

- Por família e testemunha,
- Efeitos de família *versus* testemunha, entre famílias, entre recíprocos e dentro dos recíprocos;
- Análise conjunta para separação do efeito de ano e suas interações (Ano 1: cana-planta e ano 2: cana-soca);

#### ETAPA 2

- Efeito do parental feminino (PF) e efeito do parental masculino aninhado no parental feminino (PM(PF));
- Efeito do parental masculino (PM) e efeito do genitor feminino aninhado no parental masculino (PF(PM)) e
- Análise conjunta para separação do efeito de ano (cana-planta e cana-soca) e a interação entre os parentais (PF, PM, PM(PF) e PF(PM)).

No caso, pelo delineamento utilizado, os efeitos dos recíprocos não puderam ser completamente separados em componentes maternos, não maternos e paternos (WU e MATHESON, 2001) pois são efeitos específicos de cada cruzamento.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A obtenção de ganhos genéticos é determinada pela variabilidade existente entre e dentro das famílias avaliadas nos programas de melhoramento de plantas. De acordo com a Tabela 3, todos os atributos avaliados apresentaram efeito significativo entre famílias e entre recíprocos, o que permite seleção.

**Tabela 3.** Análise de variância e médias fenotípicas para os quatro pares de cruzamentos recíprocos dos atributos número de colmos (InNC), brix e TBIOH, nos ciclos de cana-planta<sup>1</sup>, cana-soca<sup>2</sup> e análise conjunta<sup>3</sup>.

	Nº de colmos	Brix <sup>1</sup>	Brix <sup>2</sup>	Brix <sup>3</sup>	TBIOH <sup>1</sup>	TBIOH <sup>2</sup>	TBIOH <sup>3</sup>
<b>F.V.</b>	<i>F value (Test)</i>						
Família x TEST	7,37 *	21,95 *	90,77 *	39,44 *	2,20 ns	0,70 ns	1,82 ns
Entre famílias	2,41 *	21,45 *	17,57 *	12,80 *	17,01 *	14,15 *	22,86 *
Entre recíprocos	2,98 *	43,65 *	24,78 *	22,32 *	5,38 *	20,97 *	19,65 *
Dentro R1	0,85 ns	0,25 ns	11,99 *	3,43 +	6,41 *	3,70 *	0,02 ns
Dentro R2	0,45 ns	1,18 ns	0,54 ns	0,21 ns	10,62 *	0,16 ns	5,88 *
Dentro R3	6,08 *	2,92 +	0,01 ns	0,31 ns	60,26 *	15,18 *	54,41 *
Dentro R4	0,54 ns	14,86 *	36,11 *	16,89 *	25,63 *	17,06 *	34,15 *
Ano	-	-	-	105,0 *	-	-	76,13*
Ano x família	-	-	-	3,11 *	-	-	4,67 *

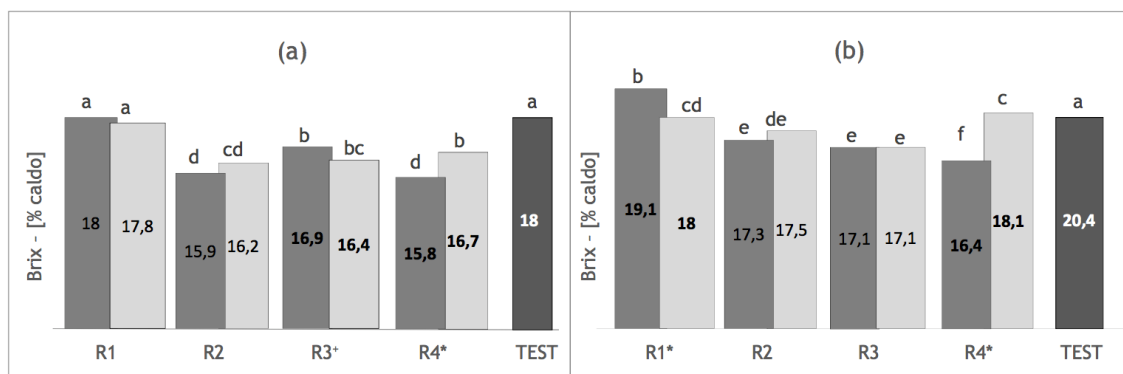
<b>Família (Recíproco)</b>	<i>Médias fenotípicas</i>						
250 (R <sub>1</sub> )	1,91 bcd	18,0 a	19,1 b	18,5 ab	338,4 a	270,0 ab	306,7 ab
251 (R <sub>1</sub> )	1,95 abc	17,8 a	18,0 cd	17,9 bc	285,0 b	315,0 a	303,3 ab
285 (R <sub>2</sub> )	1,92 abcd	15,9 d	17,3 e	16,6 ef	293,3 b	273,3 ab	283,3 b
286 (R <sub>2</sub> )	1,95 abc	16,2 cd	17,5 de	16,8 ef	358,4 a	281,7 ab	323,3 ab
287 (R <sub>3</sub> )	1,87 cd	16,9 b	17,1 e	16,9 de	200,0 c	145,0 d	175,0 c
288 (R <sub>3</sub> )	1,98 ab	16,4 bc	17,1 e	16,8 e	353,4 a	225,0 c	288,3 b
335 (R <sub>4</sub> )	1,87 cd	15,8 d	16,4 f	16,1 f	230,0 c	166,7 d	201,7 c
336 (R <sub>4</sub> )	1,84 d	16,7 b	18,1 c	17,4 cd	331,7 ab	253,3 bc	293,3 ab
Testemunha	2,00 a	18,0 a	20,4 a	19,2 a	333,4 ab	256,7 bc	296,7 ab

R1: famílias 250 e 251; R2: famílias 285 e 286; R3: famílias 287 e 288; R4: famílias 335 e 336; nº de colmos: log neperiano (nº colmos+1); TBIOH: tonelada de biomassa por hectare; Médias com letras iguais nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste t (LSD, P≤0,05); \*: significativo pelo teste F (P≤0,05); +: significativo pelo teste F (0,05<P≤0,10).



O atributo conteúdo de brix apresentou efeito família x testemunha, significativo em todos os períodos avaliados, o que é justificado dada a segregação dentro das famílias e a alta nota de pol do cultivar testemunha IACSP95-5000.

No ciclo de cana-planta (brix<sup>1</sup>), o conteúdo de brix apresentou efeito recíproco significativo dentro do recíproco 4 (R4: famílias 335 e 336). A média das progênes da família 336 (IACSP98-2053 x RB855453) foi superior à média de seu recíproco (Figura 1.a). O incremento de brix observado na média das progênes de 0,9 brix por utilização do parental feminino IACSP98-2053 está de acordo com estudo de Raghavan e Govindaswamy (1956), que encontrou incrementos entre 0,9 a 1,4 brix nas progênes de famílias envolvendo o parental feminino P.331.



**Figura 1.** Diferença recíproca nas médias fenotípicas de brix para os quatro pares de recíprocos. (a): cana-planta; (b): cana-soca; R1: famílias 250 e 251; R2: famílias 285 e 286; R3: famílias 287 e 288; R4: famílias 335 e 336; médias com letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste t (LSD,  $P \leq 0,05$ ); \*: significativo pelo teste F ( $P \leq 0,05$ ); +: significativo pelo teste F ( $0,05 < P \leq 0,10$ ).

Em cana-soca (brix<sup>2</sup>), o conteúdo de brix mostrou-se significativo dentro dos recíprocos R1 e R4 (Tabela 3). Nessas famílias, o mesmo clone IACSP98-2053 foi utilizado com parental feminino em R1 (família 250) e R4 (família 336), com cerca de 560 progênes avaliadas (Figura 1.b). Um aumento no conteúdo de brix entre 0,9 a 1,7 foi observado nessas progênes quando comparado aos seus recíprocos. Isso sugere a maior importância da contribuição do parental feminino em relação ao conteúdo de sacarose nas progênes.

Nota-se que o incremento do brix está relacionado também ao parental masculino utilizado. O clone IACSP98-2053 ao ser utilizado como parental feminino contribuiu para incremento de brix das suas progênes independentemente do parental masculino utilizado, entretanto, a combinação com o parental masculino RB855453 (R4) apresentou média da progênie superior em 0,8 brix às oriundas do parental masculino IACSP01-2419 (R1). Esses resultados estão em concordância com Hsu et al. (1995) indicando que a herança do conteúdo de sacarose é determinada por ambos os parentais, entretanto, a maior influência é do parental feminino.

É interessante observar que a cultivar RB966928, um dos parentais de melhor caracterização para POL (Tabela 2), não refletiu essa característica na média das suas progênes (R3) ao ser utilizado como parental feminino (Figura 1.b), contrariando parcialmente as considerações de Natarajan et al. (1967) e Shanti et al. (2005).

Considerando a média dos anos para o conteúdo de brix (brix<sup>3</sup>), o efeito dentro de recíprocos foi significativo apenas em R4, com maior conteúdo de brix para a família 336 (IACSP98-2053 x RB855453). A testemunha IACSP95-5000 e a família 250 apresentaram os maiores conteúdos de brix de, respectivamente, 19,2 e 18,5.

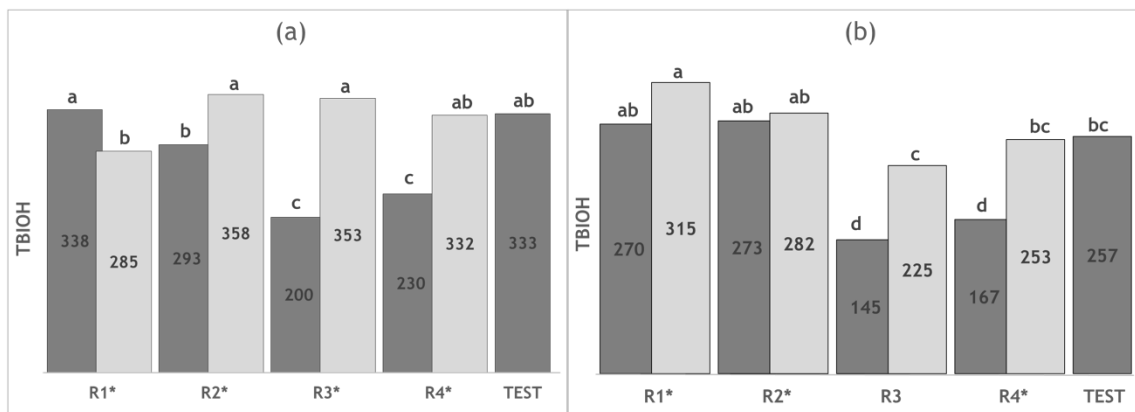
O atributo de produção TBIOH apresentou efeito família *versus* testemunha não significativo em todos os períodos avaliados, o que é justificado dada a segregação dentro das famílias.

As famílias 287 e 335 apresentaram as piores médias fenotípicas para o atributo de produção TBIOH nos dois ciclos avaliados (Tabela 3). Os valores médios de TBIOH das famílias 250, 251, 285, 286, 288 e 336 não diferiram da testemunha IACSP95-5000 no ciclo de cana-soca. Na média dos anos (TBIOH<sup>3</sup>), a influência dos recíprocos mostrou-se similar a média das famílias, possivelmente pela maior influência ambiental sobre esse atributo.

Ao contrário dos outros atributos avaliados, o efeito recíproco foi significativo dentro de todos os cruzamentos avaliados (Tabela 3). O clone IACSP98-2053 ao ser utilizado como parental feminino contribuiu para alta produtividade de TBIOH das suas progênes independente do parental masculino utilizado. Em R1, em

cruzamento com o parental masculino IACSP01-2419, sua progênie teve um aumento de 53,4 TBIOH em relação ao seu recíproco. E, em R4, com o parental masculino RB855453, aumento de 101,7 TBIOH (Figura 2). Esses dados indicam efeito recíproco para o atributo de produção TBIOH e estão em concordância com os dados da literatura sobre efeito materno para genes de vigor (LOH e TSENG, 1950; RAGHAVAN e GOVINDASWAMY, 1956).

A cultivar RB966928 embora caracterizada com boa nota de TCH (Tabela 2), ao ser utilizada como parental feminino, contribuiu para o pior desempenho de sua progênie, sendo a média de sua progênie inferior ao seu recíproco (R3) em ambos os ciclos avaliados (Figura 2.a e 2.b).



**Figura 2.** Diferença recíproca nas médias fenotípicas de TBIOH para os quatro pares de cruzamentos recíprocos. (a): cana-planta; (b): cana-soca; R1: famílias 250 e 251; R2: famílias 285 e 286; R3: famílias 287 e 288; R4: famílias 335 e 336; médias com letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste t (LSD,  $P \leq 0,05$ ); \*: significativo pelo teste F ( $P \leq 0,05$ );

O atributo número de colmos demonstrou diferença significativa no efeito família x testemunha (Tabela 3). Com base nos valores médios, as famílias 251, 285, 286 e 287 não diferiram estatisticamente da testemunha IACSP95-5000 (Tabela 3). O efeito dos recíprocos foi significativo apenas dentro de R3, com a família 288 (IACSP04-1119 x RB966928) apresentando número de colmos superior ao seu recíproco.

### 3.1. Efeito Relativo dos parentais

As médias fenotípicas relativas aos efeitos dos parentais masculinos e femininos estão representadas na Tabela 4. Observou-se que todos os efeitos relativos aos parentais foram significativos e, inclusive, as interações ano\*PF e ano\*PM foram significativas.

**Tabela 4.** Análise de variância dos efeitos relativos aos parentais femininos, masculinos e suas interações.

	Nº de colmos	Brix <sup>1</sup>	Brix <sup>2</sup>	Brix <sup>3</sup>	Biomassa <sup>1</sup>	Biomassa <sup>2</sup>	Biomassa <sup>3</sup>
<b>F.V.</b>				<i>F value (test)</i>			
PF	2,28 *	21,97 *	18,96 *	33,98 *	15,24 *	13,29 *	22,67 *
PM(PF)	2,62 *	14,89 *	14,58 *	25,50 *	18,54 *	14,37 *	31,74 *
PM	2,08 *	14,38 *	17,65 *	25,42 *	20,85 *	11,59 *	28,57 *
PF(PM)	3,12 *	33,93*	17,84 *	46,90 *	4,50 *	18,63 *	16,98 *
Ano	-	-	-	80,52 *	-	-	67,53 *
Ano*PF	-	-	-	3,42 *	-	-	6,24 *
Ano*PM(PF)	-	-	-	1,43 <i>ns</i>	-	-	0,08 <i>ns</i>
Ano*PM	-	-	-	3,87 *	-	-	3,72 *
Ano*PF(PM)	-	--	-	0,39 <i>ns</i>	-	-	6,37 *

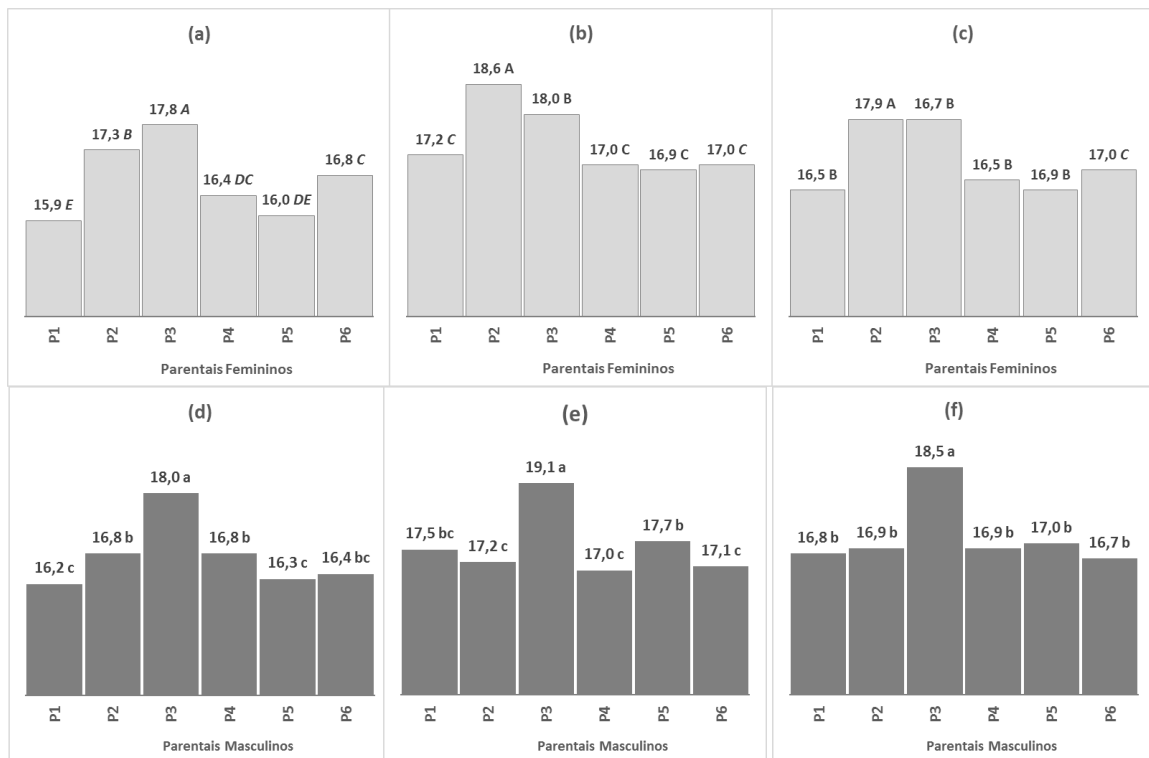
nº de colmos: log neperiano (nº colmos+1); \* significativo a 5% pelo teste t (LSD); PM(PF): efeito do parental masculino aninhado ao parental feminino; PF(PM): efeito do parental feminino aninhado ao parental masculino.

Os clones IACSP01-2419 (P3) e IACSP98-2053 (P2), ao serem utilizados como parentais femininos, mostraram o valor médio de brix superior aos demais parentais, na média dos anos (Figura 3.c). O efeito dos clones IACSP01-2419 e o IACSP98-2053 como bons parentais femininos foi verificado e está em concordância com as análises realizadas com base na média de suas progênie, apresentando média de brix superior aos demais parentais.

O melhor parental masculino para conteúdo de brix foi o clone IACSP01-2419 (P3), com média de 18,5 de brix e diferença significativa aos demais parentais avaliados (Figura 3.f).

Nota-se que o clone IACSP01-2419 apresentou efeito superior para conteúdo de brix ao ser utilizado tanto como parental feminino quanto masculino, sugerindo

que o melhor parental feminino para aumento de brix nem sempre é o parental de maior brix, ou seja, o efeito não é só materno, podendo ocorrer interações com o parental masculino. Esses resultados estão em concordância com Bhandari et al. (2014), em que a vantagem relativa do uso de um determinado genótipo como parental feminino depende da base genética do outro genótipo utilizado no cruzamento, indicando a complexidade genética dos efeitos recíprocos.

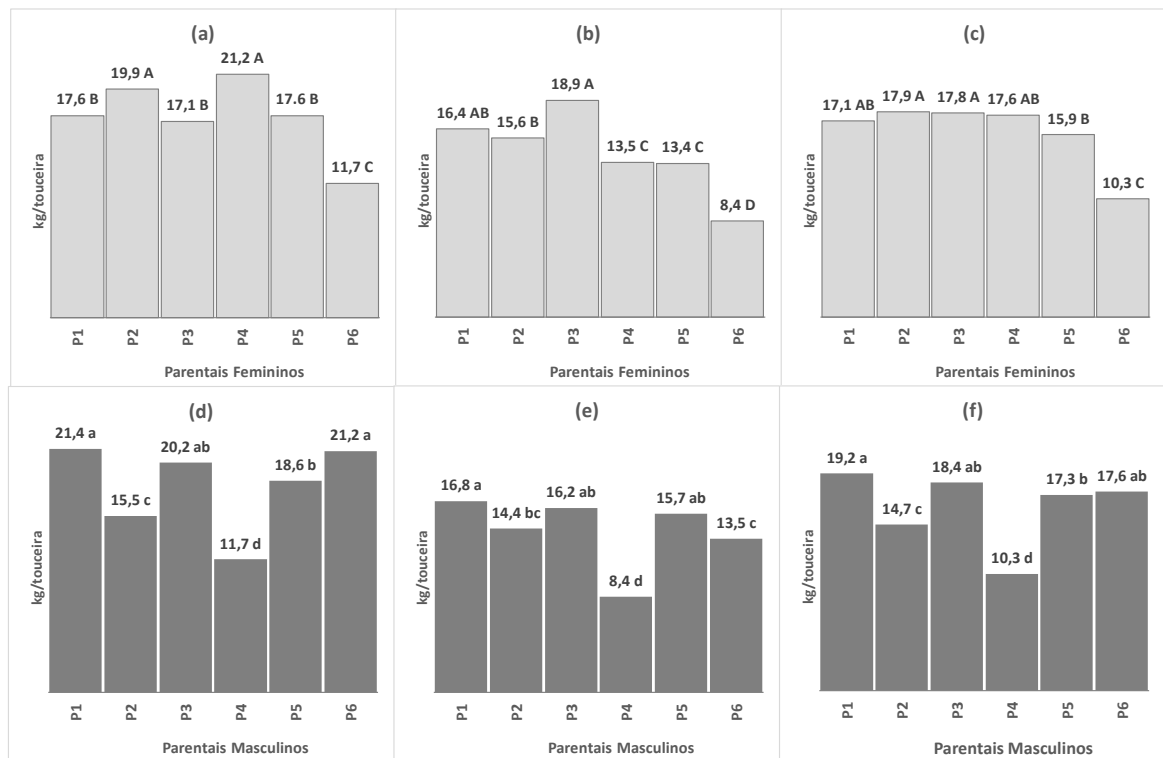


**Figura 3.** Médias fenotípicas do efeito relativo ao parental feminino e masculino para o atributo brix. Em que, (a) e (d): cana-planta; (b) e (e): cana-soca; (c) e (f): análise conjunta dos anos; P1: IACSP95-5000; P2: IACSP98-2053; P3: IACSP01-2419; P4: IACSP04-1119; P5: RB855453; P6: RB966928; Médias com letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste t (LSD,  $P \leq 0,05$ ).

Quanto ao atributo biomassa de touceira, para cana-planta, os resultados da Figura 4.a demonstraram que os clones IACSP04-1119 (P4) e IACSP98-2053 (P2) possuem o melhor efeito relativo ao parental feminino com média de, respectivamente, 21,2 e 19,9 kg/touceira. Em cana-soca, o clone IACSP01-2419

(P3) possui o melhor efeito relativo ao parental feminino com média de 18,9 kg/touceira, apesar de não diferir estatisticamente. (Figura 4.b).

No entanto, na análise conjunta dos anos (Figura 4.c), todos os parentais avaliados tiveram desempenho similar quanto ao efeito de parental feminino para o atributo biomassa de touceira, com exceção do cultivar RB966928 que apresentou os piores resultados em todos os períodos avaliados.



**Figura 4.** Médias fenotípicas do efeito relativo ao parental feminino e masculino para o atributo biomassa de touceira. Em que, (a) e (d): cana-planta; (b) e (e): cana-soca; (c) e (f): análise conjunta dos anos; P1: IACSP95-5000; P2: IACSP98-2053; P3: IACSP01-2419; P4: IACSP04-1119; P5: RB855453; P6: RB966928; Médias com letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste t (LSD,  $P \leq 0,05$ ).

Em relação aos efeitos do parental masculino, em cana-planta, os resultados da Figura 4.d demonstraram que os genótipos IACSP95-5000 (P1), RB966928 (P6) e IACSP01-2419 (P3) possuem as melhores médias de, respectivamente, 21,4, 21,2 e 20,2 kg/touceira. Em cana-soca, a cultivar IACSP95-5000 possui o melhor efeito

relativo ao parental feminino com média de 16,8 kg/touceira (Figura 4.b). E, na análise conjunta dos anos, a cultivar IACSP95-5000 apresentou o melhor efeito de parental masculino para biomassa de touceira com média 19,2 kg/touceira (Figura 4.f).

Os clones IACSP04-1119 (P4) e IACSP98-2053 (P2) apresentaram os piores efeitos de parental masculino em relação a biomassa de touceira em todos os períodos avaliados (Figura 4.d e 4.f).

#### 4. CONCLUSÕES

- Os cruzamentos avaliados apresentaram efeito recíproco significativo para os atributos brix e TBIOH, evidenciando a existência de efeitos maternos, paternos e interação entre eles na determinação da performance das progênies.
- O parental feminino apresentou maior contribuição na determinação da performance do brix das progênies, porém, nem sempre o parental com alto teor de brix irá produzir progênie com performance superior.
- Entre os genótipos estudados foi recomendada a utilização do parental feminino IACSP01-2419 e o parental masculino IACSP95-5000 para obtenção de progênies superiores quanto ao teor de sacarose (brix) e produtividade TBIOH.

## REFERÊNCIAS

BHANDARI, H. S.; WEBB, S. L.; BOUTON, J. H.; SAHA, M. C. Reciprocal effects for biomass yield in lowland switchgrass. **Crop Science**, v. 54, n.2, p. 955-962, 2014.

COCKERHAN, A.C.; WEIR, B.S. Quadratic analysis of reciprocal crosses. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 187-203, 1977.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira: Cana-de-açúcar**, v. 3, n. 3. Brasília: CONAB, 2016. 74p.

EVANS, M.M.; KERMICLE, J.L. Interaction between maternal effect and zygotic effect mutations during maize seed development. **Genetics**, v. 159, p. 303-315, 2001.

FAN, X.Y.; ZANG, Y.; YAO, W.; BI, Y.; LIU, L.; CHEN, H.; KANG, M. Reciprocal diallel crosses impact combining ability, variance estimation and heterotic group classification. **Cropscience**, v. 54, p. 89-97, 2014.

GRIVET, L.; GLASZMANN, J. C.; ARRUDA, P. Sequence polymorphism from EST data in sugarcane: a fine analysis of 6-phosphogluconate dehydrogenase genes. **Genetic and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 24, n. 1/4, p. 161-167, 2001.

HAYMAN, B. I. The Analysis of Variance of Diallel Tables. **Biometrics**, v.10, n.2, p.235-244, 1954.

HSU, S.Y.; HOUR, A.L.; WANG, T. H. Heritability and modes of inheritance of brix in sugarcane seedlings. **Proceedings ISSCT**, n. 22, p. 286-291, 1995.

LOH, C. S.; TSENG, P. M. Notes on sugarcane nobilization. **Proceedings ISSCT**, n. 7, p. 254-256, 1950.

MUKANGA, M.J.; DERERA, D.J.; TONGOONA, P. Gene action and reciprocal effects for ear rot resistance in crosses derived from five tropical maize populations. **Euphytica**, v.174, p.293-301, 2010.



NATARAJAN, B. V.; KRISHNAMURTHY, T. N.; THULJARAM RAO, J. Relative effects of parentes on some economic characters in sugarcane. **Euphytica**, v.16, n. 1, p. 104-108, 1967.

RAGHAVAN, T. S.; GOVINDASWAMY, S. Sugarcane as material for genetic studies. **Proceedings ISSCT**, n. 9, p.667-694, 1956.

SAS Institute Inc. The SAS System, release 9.3. SAS Institute Inc., Cary: NC, USA, 2013.

SHANTI, R. M.; ALARMELU, S.; BALAKRISHNAN, R. Role of female parent in the inheritance of brix in early selection stages of sugarcane. **Sugar Tech**, v. 7, n. 2-3, p. 39-43, 2005.

XAVIER, M. A. **Ponto de mérito de família, parâmetros genéticos e Identificação de genitores masculinos em policruzamentos de cana-de-açúcar**. 2011, 80p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal.

XAVIER, M. A.; PERECIN, D.; ALVIM, K. R. T.; LANDELL, M. G. A.; ARANTES, F. C. Seleção de famílias e progênies de irmãos completos de cana-de-açúcar para atributos tecnológicos e de produção pelo método de REML/BLUP. **Bragantia**, v. 73, n.3, p. 253-262, 2014.

WU, K.K.; HEINZ, D. J.; MEYER, H. K.; LADD, S. L. Combining ability and Genitor Evaluation in Five Selected Clones of Sugarcane (*Saccharum* sp. Hybrids). **Theoretical and Applied Genetics**, v. 56, n. 6, p.241-244, 1980.

WU, H.X.; MATHESON, A.C. Reciprocal, maternal and non-maternal effects in *Radia pine* diallell mating experiments on four Australia sites. **Forest genetics**, v. 8, n. 3, p. 205-212, 2001.

ZHANG, Y.; ANG, M.S.; LAMKEY, R.K. DIALLEL-SAS2005: A Comprehensive program for Griffing's and Gardner-Eberhart analysis. **Agronomy Journal**, v.97, p.1097-1106, 2005.

### **CAPÍTULO 3 - MELHORES PROGÊNIES, COMPONENTES DA VARIÂNCIA E HERDABILIDADE EM FAMÍLIAS DE QUATRO PARES DE RECÍPROCOS DE CANA-DE-AÇÚCAR.**

**RESUMO** – A existência de efeitos recíprocos tem implicações nos efeitos genéticos dos cruzamentos e na melhor escolha dos parentais. O objetivo deste estudo foi avaliar as famílias e destacar as progênies superiores de cana-de-açúcar oriundas de quatro cruzamentos biparentais e seus recíprocos para os seguintes atributos: número de colmos, brix (% caldo de cana) e biomassa de touceira. O experimento foi realizado em blocos inteiramente casualizados, com 9 tratamentos (8 famílias e 1 testemunha), com 20 blocos, analisado via modelos mistos. As predições das famílias mostraram variabilidade para número de colmos (InNC), brix e biomassa de touceira (BIO), o que permite seleção. Entre os parentais avaliados, recomenda-se a utilização do parental feminino IACSP01-2419 e o parental masculino IACSP95-5000 para desenvolvimento de cultivares com alto teor de brix associado a alta produtividade de biomassa de touceira. O cultivar RB966928 foi o parental masculino de 37% dos trinta melhores indivíduos para brix.

**Palavras-chave:** melhoramento genético, modelos mistos, *Saccharum spp.*

## **BEST PROGENIES, VARIANCE COMPONENTS AND HERITABILITY IN FAMILIES OF FOUR RECIPROCAL CROSSES IN SUGARCANE**

**ABSTRACT** – Reciprocal effects have implications for the genetic effects of crosses and best choice of parents. The present work aimed to evaluate eight sugarcane families and to highlight the superior progenies originated from four biparental crosses and their reciprocal crosses for the traits: stalk number, brix (% cane juice) and biomass. The experiment design used was completely randomized blocks, with 20 replications. Progenies from 9 treatments (eight families and a cultivated variety IACSP95-5000) were analyzed through mixed models. The predictions showed variability for stalk number, brix and biomass. The female parent IACSP01-2419 and the male parent IACSP95-5000 were recommended for the development of cultivars with high brix content associated with high biomass productivity. The commercial variety RB966928 was the male parent of 37% among the thirty best individuals for brix.

**Keywords:** *Saccharum spp*; mixed models; crop breeding.

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a produção de cana-de-açúcar estimada para a safra 2016/17 é de 694,54 milhões de toneladas e a área cultivada está estimada em 9,1 milhões de hectares. O crescimento da produção está avaliado em 4,4% em relação à safra anterior e, a expansão de área, estimada em 5,3% (CONAB, 2016).

Dada a importância da cultura para a agroindústria brasileira, é indispensável o desenvolvimento de novas tecnologias varietais, métodos de seleção e processos que possibilitem e facilitem mensurar a evolução genética e tecnológica das famílias de cana-de-açúcar, representada respectivamente pelos parâmetros genéticos e de fenótipo (PERECIN et al., 2009).

O sucesso do melhoramento genético de cana-de-açúcar para os principais atributos agrônômicos de interesse depende, primeiramente, da criteriosa avaliação dos genótipos em experimentos bem delineados (RAMALHO et al., 2012). As chances de se produzir híbridos superiores em uma dada progênie depende da escolha dos genitores e, por isso, é necessário o desenvolvimento de métodos que auxiliem nessa escolha (WU et al., 1980).

Cruzamentos recíprocos são muito utilizados para avaliar as escolhas entre os parentais feminino e masculino. Cruzamento recíproco é aquele em que o parental é usado ora como macho ora como fêmea (RAMALHO, 2000). Nesses cruzamentos, as possíveis influências ocorrem por herança extra cromossômica dos parentais. A existência de efeitos recíprocos tem implicações nos efeitos genéticos do cruzamento e na melhor escolha dos parentais (MUKANGA et al., 2010; FAN et al., 2014).

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo:

- (a) Avaliar e comparar os parâmetros genéticos de 8 famílias de cana-de-açúcar oriundas de 4 cruzamentos biparentais e seus recíprocos pelo método de modelos mistos – MIVQUE0;
- (b) Destacar as famílias e progênies superiores para os atributos de número de colmos, toneladas de biomassa por hectare e brix% do caldo, a partir das diferenças esperadas preditas (DEP).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram escolhidos quatro cruzamentos biparentais e seus recíprocos, gerando 8 famílias de irmãos completos, conforme a Tabela 1. Os cruzamentos foram escolhidos, pelo Programa Cana IAC, em função de experiências anteriores e por critérios de divergência genética molecular. Alguns parentais são cultivares comerciais e outros clones disponíveis no banco de genitores do programa Cana IAC.

As famílias originam-se dos cruzamentos da série de hibridação 2013 do Instituto Agrônomo de Campinas, realizadas na Estação Experimental de Cruzamento do IAC, localizada no município de Serra Grande, Estado da Bahia, entre maio e julho de 2013. Os *seedlings* foram produzidos no Centro de Cana-de-açúcar em Ribeirão Preto entre outubro e novembro de 2013 e transplantados para o campo em março de 2014.

**Tabela 1.** Descrição dos cruzamentos recíprocos, famílias e parentais utilizados.

Recíproco	Família	PF	PM
R1	250	IACSP98-2053	IACSP01-2419
R1	251	IACSP01-2419	IACSP98-2053
R2	285	IACSP95-5000	RB855453
R2	286	RB855453	IACSP95-5000
R3	287	RB966928	IACSP04-1119
R3	288	IACSP04-1119	RB966928
R4	335	RB855453	IACSP98-2053
R4	336	IACSP98-2053	RB855453

PF: genitor feminino; PM: genitor masculino; R1: famílias 250 e 251; R2: famílias 285 e 286; R3: famílias 287 e 288; R4: famílias 335 e 336

O experimento foi instalado em delineamento de blocos inteiramente casualizados, com oito famílias (Tabela 1) e a cultivar IACSP95-5000, em 20 blocos. Os tratamentos avaliados foram 8 famílias sendo 4 famílias de irmãos completos e seus recíprocos e 1 cultivar testemunha IACSP95-5000, em 20 blocos. Cada parcela foi constituída por dois sulcos de 3,5m de comprimento, inicialmente com 14 plantas,

com espaçamento entre linhas de 1,5 m e 0,50m entre plantas, totalizando 280 progênies por família e um total inicial, nas 8 famílias, de 2.240 progênies avaliadas.

A colheita da cana-planta foi realizada 14 meses após o plantio, em maio de 2015 e, de cana-soca, aproximadamente 12 meses após o primeiro corte em maio de 2016. Os seguintes atributos agronômicos foram avaliados:

- a) Brix: expresso em % caldo da cana, determinado pela leitura simples do caldo de um colmo por indivíduo com o auxílio de um refratômetro de campo ATAGO tipo N-IE. A amostragem do caldo foi realizada no colmo representativo da touceira, na transição entre o terço inferior e terço médio, no momento da colheita, nos ciclos de cana-planta e cana-soca.
- b) Número de colmos (lnNC): expressa em log neperiano (número de colmos +1), obtido pela contagem do número total de colmos por touceira de cada indivíduo, no ciclo de cana-planta, aos 8 meses após o plantio. A avaliação de número de colmos não foi realizada no ciclo de cana-soca em decorrência do tombamento do experimento devido a ventos fortes, muito comum na região.
- c) Biomassa: expressa em kg/touceira, em que as plantas foram pesadas individualmente (toda a parte aérea, colmos sem desponte), realizada em ciclo de cana-planta e cana-soca, por ocasião da colheita.
- d) Toneladas de biomassa por hectare (TBIOH): estimativa de produção obtida pela extrapolação dos valores de biomassa individual para 1 hectare segundo a equação  $TBIOH = biomassa \times (6,667/0,4)$ , considerando-se que cada touceira ocupava 0,4 m linear (XAVIER, 2014).

As estimativas dos componentes de variância foram calculadas com auxílio do software SAS® 9.3 (SAS Institute, 2013) com a utilização do método MIVQUE(0), que mostra fácil convergência iterativa e boas propriedades estatísticas (DUARTE et al, 2001). Em que MIVQUE(0), estimador quadrático não viesado de variância mínima, calcula e fornece diretamente as estimativas dos componentes de variância.

Os parâmetros genéticos e as diferenças preditas esperadas (DEP) foram obtidos com auxílio de modelo misto, Proc MIXED do SAS, usando blocos como

efeitos fixos e as famílias e suas progênes como efeitos aleatórios. As famílias foram classificadas a partir das diferenças esperadas preditas (DEP) e foram classificadas as 30 melhores progênes para cada atributo avaliado.

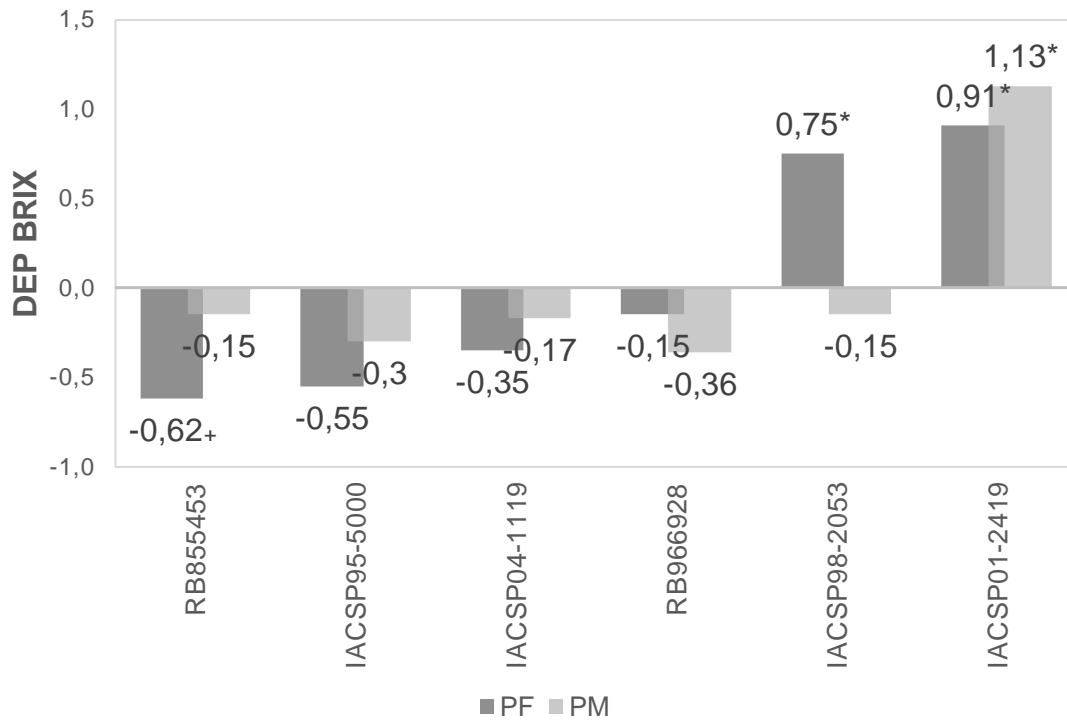
### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Neste estudo, os cruzamentos não estão em esquema dialelo e os resultados apresentados são específicos aos cruzamentos avaliados.

#### **A) CAPACIDADE DE COMBINAÇÃO DOS PARENTAIS**

A análise da capacidade de combinação dos parentais foi realizada, por meio de modelos mistos, com a utilização de dois modelos, um para os parentais femininos (PM) e outro para os parentais masculinos (PM). Os preditores dos valores genéticos foram expressos em diferença esperada predita (DEP), ou seja, em termos de ganhos esperados em relação à média geral, positivos ou negativos.

Nota-se na Figura 1 que há uma expectativa de aumento ao redor de um ponto brix, na média da família, quando se usa o clone IACSP01-2419, tanto como parental feminino ou masculino. O clone IACSP98-2053 também se mostrou bom parental feminino e, a cultivar RB855453 mostrou efeito negativo ao ser utilizada como fêmea. Esses resultados estão de acordo com Hsu, Hour e Wang (1995) indicando que a herança do conteúdo de sacarose foi dada através de ambos parentais, entretanto a maior influência é do parental feminino.

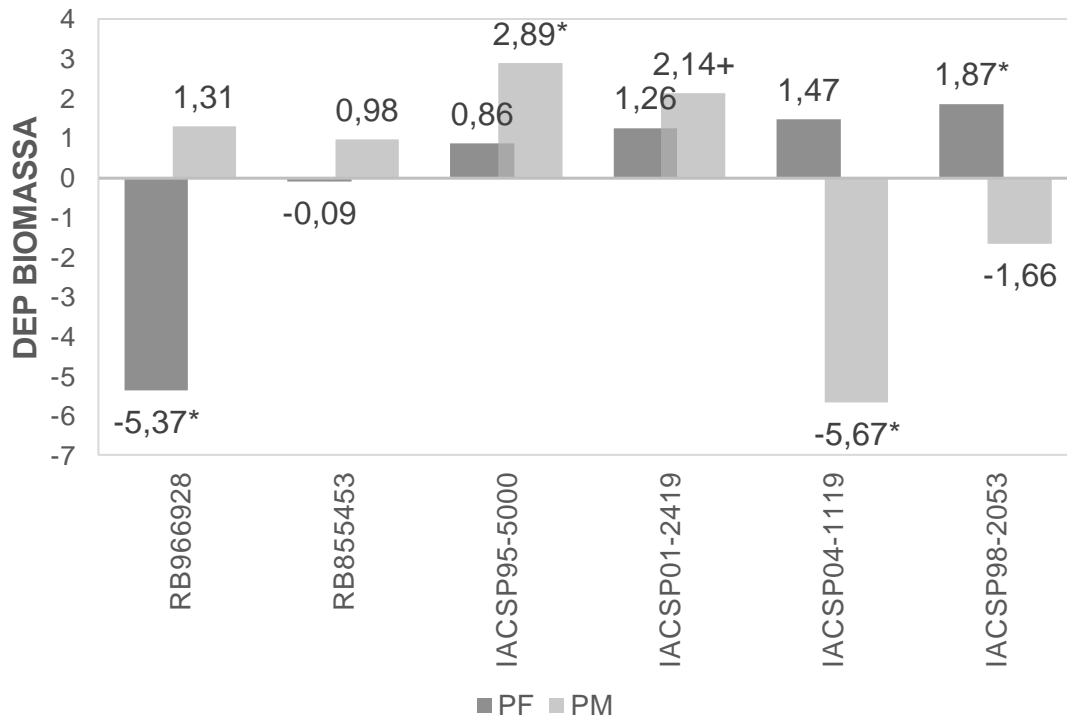


**Figura 1.** Diferença esperada predita (DEP) dos parentais para o atributo brix, com base na média dos anos. PF: parental feminino; PM: parental masculino.

Para o atributo biomassa de touceira, o cultivar IACSP95-5000 foi o melhor parental masculino com DEP de +2,89, como pode ser observado na Figura 2. Dentre os efeitos de parental feminino, os clones IACSP98-2053 e IACSP04-1119 se destacam ao apresentar DEP de +1,87 e +1,47, respectivamente. Esses resultados mostraram claramente a importância dos cruzamentos recíprocos pois o melhor parental feminino não é, necessariamente, o melhor parental masculino.

Os preditores dos efeitos dos parentais masculino e feminino estão em concordância com a análise realizada no capítulo 2. Entre os parentais avaliados, recomenda-se a utilização do parental feminino IACSP01-2419 (DEP: +0,91 brix) e parental masculino IACSP95-5000 (DEP: +2,89, biomassa) para desenvolvimento de cultivares com alto teor de brix associado a alta produtividade de biomassa de touceira.





**Figura 2.** Diferença esperada predita (DEP) dos parentais para o atributo biomassa de touceira, com base na média dos anos. PF: parental feminino; PM: parental masculino.

## B) HERDABILIDADES E COMPONENTES DE VARIÂNCIA

Os componentes de variância e parâmetros genéticos foram estimados para os atributos avaliados e encontram-se na Tabela 2. A herdabilidade para o atributo brix no ciclo de cana-planta dentro de famílias variou de 0,75 a 0,86. Em cana-soca, variou entre 0,66 a 0,75. E, na média dos anos, a herdabilidade dentro de famílias para brix variou de 0,71 a 0,80, respectivamente para as famílias 335 e 288, o que mostra que há variabilidade a ser explorada para esse atributo. Os dados estão em concordância com estudos realizados por Bressiani (2001), Oliveira (2007) e Xavier (2011) com valores de herdabilidade para brix de, respectivamente, 0,86, 0,87 e 0,88.

A herdabilidade para o atributo de biomassa de touceiras (BIO) em cana-planta dentro de famílias variou de 0,69 a 0,91. Em cana-soca, variou entre 0,31 a

0,89. E, na média dos anos, a herdabilidade dentro de famílias para biomassa variou de 0,50 a 0,90, respectivamente para as famílias 335 e 251, cujos parentais são RB855453 x IACSP98-2053 e IACSP98-2053 x IACSP01-2419, respectivamente.

**Tabela 2.** Estimativa dos componentes de variância e herdabilidade para os atributos avaliados de 4 cruzamentos de irmãos completos e seus recíprocos.

Família	$\sigma_G^2$					$h^2$				
	InNC	brix <sup>1</sup>	brix <sup>2</sup>	BIO <sup>1</sup>	BIO <sup>2</sup>	InNC	brix <sup>1</sup>	brix <sup>2</sup>	BIO <sup>1</sup>	BIO <sup>2</sup>
250	0,06	4,81	5,76	165,11	147,65	0,29	0,75	0,73	0,82	0,76
251	0,30	5,42	4,21	369,82	402,18	0,66	0,77	0,66	0,91	0,89
285	0,13	5,81	6,51	182,97	189,74	0,45	0,79	0,75	0,84	0,80
286	0,13	4,76	5,68	198,08	140,01	0,44	0,75	0,73	0,85	0,75
287	0,11	6,83	5,58	8,43	41,77	0,42	0,81	0,72	0,70	0,47
288	0,06	9,38	5,99	123,18	73,75	0,27	0,86	0,74	0,77	0,61
335	0,08	5,01	4,09	80,47	21,56	0,34	0,76	0,66	0,69	0,31
336	0,05	5,05	4,36	113,74	114,93	0,24	0,76	0,67	0,76	0,71
Geral	0,11	5,92	5,33	159,86	127,74	0,41	0,79	0,71	0,82	0,73
$\sigma_A^2$	0,16	1,59	2,15	36,15	47,2					

Em que, <sup>1</sup>: cana-planta; <sup>2</sup>: cana-soca;  $\sigma_G^2$ : variância genética;  $\sigma_A^2$ : variância ambiental;  $h^2$ : herdabilidade no sentido amplo, InNC: log neperiano ( $nc + 1$ ) e nc: número de colmos; BIO: biomassa de touceiras; GERAL: 8 famílias avaliadas.

As variâncias ambientais foram ao redor de 30% superiores no ciclo de cana-soca, tanto para brix como para biomassa, fato provavelmente associado a influências no potencial de brotação no ciclo de cana-soca e aos fatores climáticos específicos do ano.

### C) PREDIÇÃO E ORDENAÇÃO DAS PROGÊNIES

No melhoramento de cana-de-açúcar, o número de indivíduos superiores em cada cruzamento é muito importante para a expectativa de obtenção de novos cultivares. As porcentagens das melhores progênies de cada cruzamento em

relação às 30 melhores de todo o experimento, em função da diferença esperada predita por modelo misto é mostrada na Tabela 3.

**Tabela 3.** Porcentagens das melhores progênes de cada cruzamento em relação às 30 melhores de todo experimento, em função da diferença predita esperada obtida por modelo misto.

Família	InNC	Brix <sup>1</sup>	Brix <sup>2</sup>	BIO <sup>1</sup>	BIO <sup>2</sup>
250 ( <i>R</i> <sub>1</sub> )	13	13	7	17	13
251 ( <i>R</i> <sub>1</sub> )	37	10	3	40	33
285 ( <i>R</i> <sub>2</sub> )	13	3	20	17	20
286 ( <i>R</i> <sub>2</sub> )	7	0	20	13	7
287 ( <i>R</i> <sub>3</sub> )	10	20	7	0	7
288 ( <i>R</i> <sub>3</sub> )	3	37	23	0	0
335 ( <i>R</i> <sub>4</sub> )	10	7	7	7	0
336 ( <i>R</i> <sub>4</sub> )	7	10	13	7	20

Em que, InNC: log neperiano( $n^{\circ}$  colmos+1); BIO: biomassa de touceira (kg); <sup>1</sup>: cana-planta e <sup>2</sup>: cana-soca.

Considerando os valores genótipicos dos cruzamentos, a melhor família para o atributo brix em cana-planta foi a 288 cujos parentais são, IACSP04-1119 x RB966928, com destaque para a frequência de 37% das melhores progênes de todo o experimento (Tabela 3). Os resultados mostram certa concordância com os melhores parentais em termos de médias de predições (Figuras 1 e 2), há uma diferença importante em relação ao parental masculino RB966928. Ele é um dos piores parentais para predição média de sua família (Figura 2) e é um destaque na classificação individual dos melhores filhos para brix, produzindo 11 (37%) das 30 melhores progênes para brix (Tabelas 5 e 6). A indicação das melhores famílias pode permitir sua exploração de forma mais eficiente (BARBOSA et al., 2005; XAVIER, 2014). Entre as oito famílias avaliadas, 288, 286 e 285 foram as melhores, para o atributo brix em cana-soca (Tabela 3), apresentando 63% das melhores progênes do experimento, sendo que os parentais IACSP95-5000 e RB855453 estão presentes em dois desses melhores cruzamentos.

Os dez melhores indivíduos do experimento para o ciclo de cana-planta e cana-soca são listados na Tabela 4, com base em sua performance para os atributos brix e biomassa de touceira, expressos em termos de diferença esperada predita.

**Tabela 4.** Identificação das 10 melhores progênes de todo experimento, em função da diferença predita esperada de brix e biomassa de touceira.

Cana-planta						Cana-soca					
N.	Família	Bloco	Indivíduo	Brix	Bio	N.	Família	Bloco	Indivíduo	Brix	Bio
1	251	7	14	4,6	21,9	1	250	10	14	3,4	19
2	285	13	14	3,6	41,8	2	250	7	7	2,6	44
3	286	10	9	2,8	35,1	3	251	17	11	2,7	26,8
4	286	1	6	3,6	22,3	4	285	10	7	5,3	26,9
5	287	1	10	4,4	23,9	5	285	13	14	2,7	23,8
6	28	10	4	4,4	12,8	6	286	6	7	4,7	10,8
7	288	13	5	4	24,8	7	286	6	9	4,3	17,1
8	288	10	6	5,3	7,5	8	286	9	1	3,3	28,7
9	335	8	5	2,3	53,6	9	288	13	5	4,1	23,2
10	336	2	7	6,2	28,2	10	335	8	4	4,5	21,2

Bio: biomassa de touceira.

Na Tabela 7 e 8, as 30 melhores progênes de cada família foram classificadas a partir das diferenças esperadas preditas (DEP) para o atributo biomassa de touceira (BIO). Em cana-planta, entre os 30 melhores dos oitos cruzamentos, observou-se uma amplitude de 25,76 (56,94-31,18), acima da média de todos os cruzamentos. A melhor família para este atributo foi a 251 com 40% dos melhores indivíduos de todo o ensaio. As famílias 287 e 288, embora tenham sido as melhores para brix, não tiveram nenhum indivíduo selecionado para este atributo. Em cana-planta, observou-se a amplitude 30% inferior ao observada em cana-soca (44,16-25,90) porém as famílias se comportaram de maneira similar.

A seleção individual para números de colmos (InNC), as 30 melhores progênes de cada família foram classificadas a partir das diferenças esperadas preditas (DEP) de acordo com a Tabela 9. Entre os 30 melhores dos oito cruzamentos, observou-se uma amplitude de 0,32 (0,74-0,42), acima da média de todos cruzamentos. A família 251, cujos parentais são IACSP01-2419 e IACSP98-2053, contém 37% dos melhores indivíduos de todo o ensaio. O melhor indivíduo para esse atributo foi o indivíduo 12 da família 335 do bloco 16, que apresentou DEP de 0,74.

Nota-se que a ordenação das famílias para o atributo número de colmos estão em concordância com as de biomassa de touceira, corroborando Xavier (2011) que identificou correlação moderada a forte entre número de colmos e o parâmetro de produtividade TCH (toneladas de colmos por hectare) podendo ser utilizado como uma variável indireta na seleção para TCH, inclusive compondo o índice de seleção.

**Tabela 5.** Melhores indivíduos para o atributo brix em cana-planta por família e em todo o experimento (geral), com base na diferença esperada predita (DEP).

Ranking	250	251	285	286	287	288	335	336	GERAL
1	<b>03_14_4,28</b>	<b>06_10_4,72</b>	<b>04_03_3,78</b>	16_05_3,42	<b>07_12_4,65</b>	<b>10_09_5,85</b>	<b>02_07_5,96</b>	<b>01_10_4,42</b>	<b>335_02_6,19</b>
2	<b>03_01_4,21</b>	<b>07_14_4,47</b>	13_14_3,61	01_06_3,38	<b>01_10_4,57</b>	<b>10_06_5,77</b>	<b>15_02_3,59</b>	<b>07_09_4,39</b>	<b>288_10_5,40</b>
3	<b>10_10_3,76</b>	<b>07_07_3,70</b>	11_14_3,56	06_03_3,31	<b>10_04_4,50</b>	<b>05_01_5,57</b>	05_11_3,54	<b>13_13_3,59</b>	<b>288_10_5,32</b>
4	<b>17_11_3,64</b>	02_14_3,62	06_03_3,55	03_11_3,30	<b>19_12_4,42</b>	<b>17_11_4,79</b>	05_09_3,39	14_03_3,38	<b>288_05_5,14</b>
5	12_11_3,20	11_14_3,49	11_13_3,40	11_08_3,15	<b>15_04_4,05</b>	<b>10_05_4,49</b>	05_10_3,39	15_03_3,21	<b>251_06_4,81</b>
6	05_02_3,17	15_06_3,40	01_08_3,29	14_01_3,01	<b>01_13_3,92</b>	<b>17_06_4,45</b>	02_06_3,15	12_10_3,14	<b>336_01_4,58</b>
7	11_07_3,05	12_12_3,24	01_09_3,29	01_12_2,86	03_04_3,76	<b>13_05_4,34</b>	08_13_3,09	19_03_2,94	<b>251_07_4,56</b>
8	20_09_2,87	01_13_3,21	12_11_3,29	10_02_2,83	09_09_3,66	<b>13_14_4,34</b>	11_10_2,95	09_05_2,89	<b>336_07_4,55</b>
9	10_09_2,71	13_08_3,16	20_12_3,15	10_09_2,68	12_02_3,56	<b>03_12_4,31</b>	19_03_2,91	08_06_2,66	<b>287_07_4,52</b>
10	11_11_2,68	03_11_2,95	02_08_3,11	20_06_2,56	13_01_3,50	<b>17_10_4,11</b>	18_06_2,81	10_03_2,62	<b>250_03_4,49</b>
11	17_08_2,66	10_12_2,94	19_13_3,07	18_13_2,49	06_01_3,44	<b>07_01_4,08</b>	19_04_2,75	06_01_2,56	<b>287_01_4,44</b>
12	17_10_2,59	05_08_2,90	01_03_3,05	11_11_2,47	06_13_3,44	11_10_4,03	11_09_2,65	18_02_2,54	<b>288_17_4,42</b>
13	14_04_2,53	16_06_2,85	17_09_3,02	17_01_2,47	09_12_3,41	13_01_4,00	12_13_2,64	11_13_2,48	<b>250_03_4,41</b>
14	19_12_2,52	16_02_2,77	13_13_2,90	07_03_2,39	14_14_3,39	12_10_3,90	17_10_2,55	14_11_2,47	<b>287_10_4,37</b>
15	14_02_2,46	14_03_2,66	15_05_2,89	12_13_2,38	10_03_3,36	14_01_3,86	16_11_2,54	09_12_2,43	<b>287_19_4,29</b>
16	11_13_2,45	16_09_2,61	11_06_2,85	02_12_2,36	19_09_3,28	07_12_3,65	19_10_2,45	05_06_2,43	<b>288_10_4,14</b>
17	02_11_2,42	19_02_2,59	05_06_2,80	19_06_2,29	14_10_3,07	01_08_3,59	03_04_2,45	07_02_2,42	<b>288_17_4,10</b>
18	20_04_2,34	19_11_2,59	11_09_2,69	19_13_2,22	06_07_2,96	04_01_3,55	10_10_2,32	18_14_2,38	<b>288_13_4,00</b>
19	05_11_2,34	08_11_2,48	11_12_2,69	05_13_2,19	18_05_2,94	10_02_3,55	08_05_2,18	15_04_2,38	<b>288_13_4,00</b>
20	09_04_2,34	08_14_2,48	03_06_2,56	11_01_2,17	06_06_2,88	05_02_3,52	03_11_2,14	16_13_2,28	<b>288_03_3,97</b>
21	14_14_2,31	01_10_2,44	10_07_2,52	09_14_2,10	10_02_2,88	16_11_3,46	13_07_2,10	20_06_2,21	<b>250_10_3,94</b>
22	15_11_2,29	04_03_2,42	02_05_2,48	12_04_2,08	10_14_2,88	19_03_3,43	16_14_2,08	14_10_2,16	<b>287_15_3,94</b>
23	14_09_2,23	09_10_2,41	01_05_2,42	12_09_2,08	06_02_2,79	20_03_3,29	11_04_2,04	12_07_2,15	<b>250_17_3,82</b>
24	06_05_2,23	13_04_2,39	12_02_2,42	13_11_2,07	03_08_2,79	07_11_3,23	06_13_1,96	16_09_2,13	<b>287_01_3,81</b>
25	14_03_2,16	17_14_2,35	14_04_2,37	09_11_2,02	04_14_2,71	05_08_3,18	16_02_1,93	09_13_2,13	<b>285_04_3,79</b>
26	06_02_2,15	15_02_2,31	10_10_2,28	07_05_2,02	07_03_2,63	11_03_3,17	09_02_1,89	04_07_2,12	<b>288_17_3,79</b>
27	11_08_2,15	12_14_2,31	12_07_2,26	17_03_2,02	19_13_2,55	02_11_3,16	10_01_1,87	03_11_2,10	<b>251_07_3,77</b>
28	03_03_2,10	01_05_2,28	17_10_2,24	10_03_2,00	07_07_2,54	07_08_3,14	10_08_1,87	16_12_2,05	<b>288_07_3,76</b>
29	11_06_2,08	17_13_2,28	19_08_2,21	08_03_2,00	05_09_2,52	07_09_3,14	19_11_1,84	08_02_2,05	<b>335_15_3,73</b>
30	06_10_2,00	17_02_2,20	06_07_2,14	17_10_1,94	15_11_2,51	02_06_3,07	13_01_1,80	19_05_2,03	<b>336_13_3,72</b>

Nas famílias (bloco\_indivíduo\_DEP) e em todo o experimento GERAL (família\_bloco\_DEP).

**Tabela 6.** Melhores indivíduos para o atributo brix, em cana-soca, por família e em todo o experimento (geral), com base na diferença esperada predita (DEP).

Ranking	250	251	285	286	287	288	335	336	GERAL
1	<b>17_11_4,95</b>	<b>07_12_3,77</b>	<b>10_07_5,64</b>	<b>10_09_5,12</b>	<b>10_04_3,84</b>	<b>13_05_4,26</b>	<b>08_04_4,09</b>	<b>07_14_3,92</b>	<b>285_10_5,34</b>
2	<b>07_06_4,12</b>	06_11_3,25	<b>03_07_4,15</b>	<b>06_07_4,76</b>	<b>03_07_3,66</b>	<b>07_12_4,10</b>	<b>06_07_3,95</b>	<b>01_12_3,59</b>	<b>286_10_5,03</b>
3	10_14_3,49	11_14_2,99	<b>01_10_4,12</b>	<b>06_09_4,40</b>	04_01_3,46	<b>13_09_4,04</b>	12_03_2,89	<b>10_11_3,56</b>	<b>250_17_4,84</b>
4	02_03_3,43	15_06_2,54	<b>08_06_4,06</b>	<b>03_09_4,07</b>	10_09_3,34	<b>06_14_3,91</b>	10_14_2,86	<b>10_12_3,36</b>	<b>286_06_4,67</b>
5	07_05_3,32	17_11_2,52	<b>06_07_3,94</b>	<b>08_07_3,71</b>	16_13_3,10	<b>10_01_3,79</b>	03_11_2,59	19_08_3,07	<b>335_08_4,45</b>
6	07_03_3,25	18_11_2,43	<b>20_06_3,83</b>	<b>07_07_3,61</b>	19_14_2,97	<b>10_04_3,71</b>	11_10_2,55	06_07_2,85	<b>286_06_4,32</b>
7	11_07_2,96	10_11_2,41	11_14_3,40	10_01_3,60	10_07_2,90	<b>16_10_3,70</b>	20_02_2,40	03_10_2,80	<b>335_06_4,29</b>
8	02_11_2,92	01_14_2,33	07_04_3,32	09_14_3,51	02_04_2,86	10_03_3,64	12_13_2,37	02_13_2,76	<b>336_07_4,17</b>
9	10_07_2,91	10_12_2,21	11_13_3,25	09_01_3,36	04_06_2,74	11_10_3,46	07_14_2,34	15_03_2,72	<b>288_13_4,12</b>
10	17_03_2,84	10_02_2,15	13_06_3,23	11_08_3,05	02_06_2,71	09_09_3,37	16_14_2,31	02_11_2,50	<b>251_07_4,06</b>
11	10_06_2,83	06_10_2,00	17_09_3,20	06_03_2,95	19_12_2,54	20_03_3,36	11_09_2,29	10_13_2,49	<b>250_07_4,03</b>
12	13_13_2,78	13_05_1,99	14_03_3,02	12_07_2,82	04_10_2,52	10_02_3,20	10_09_2,27	19_04_2,33	<b>286_03_4,00</b>
13	10_04_2,69	12_14_1,98	16_06_2,88	03_10_2,62	03_10_2,50	06_04_3,10	02_06_2,19	09_05_2,31	<b>288_07_3,97</b>
14	07_07_2,67	09_12_1,91	13_14_2,86	16_11_2,62	01_11_2,48	08_14_2,95	16_11_2,17	17_12_2,22	<b>285_03_3,93</b>
15	03_12_2,59	18_12_1,90	11_06_2,73	13_08_2,60	06_06_2,45	09_14_2,78	05_11_2,11	11_13_2,19	<b>285_01_3,91</b>
16	11_11_2,59	13_04_1,80	05_03_2,67	18_06_2,54	07_13_2,40	10_05_2,76	18_05_2,02	15_05_2,18	<b>288_13_3,91</b>
17	09_11_2,55	08_11_1,77	16_14_2,58	18_14_2,54	01_13_2,34	11_03_2,73	19_13_1,97	12_06_2,18	<b>285_08_3,85</b>
18	06_01_2,50	01_02_1,74	11_09_2,58	19_12_2,51	08_07_2,33	01_11_2,65	03_07_1,94	12_12_2,18	<b>336_01_3,82</b>
19	18_09_2,44	09_13_1,71	11_12_2,58	11_11_2,39	19_10_2,32	14_14_2,47	13_07_1,80	12_04_2,11	<b>287_10_3,79</b>
20	11_13_2,37	08_14_1,71	01_02_2,47	13_04_2,38	06_03_2,30	04_14_2,44	16_03_1,78	17_05_2,08	<b>288_06_3,79</b>
21	17_07_2,26	11_09_1,66	02_05_2,31	12_05_2,31	07_11_2,25	15_02_2,42	19_10_1,78	20_06_2,02	<b>336_10_3,79</b>
22	12_06_2,24	12_06_1,65	16_07_2,28	07_06_2,31	07_10_2,18	13_06_2,42	11_04_1,76	08_09_1,93	<b>285_06_3,73</b>
23	12_11_2,24	18_13_1,64	12_07_2,23	13_11_2,24	05_03_2,11	02_06_2,41	19_11_1,71	19_12_1,93	<b>288_10_3,67</b>
24	18_11_2,22	16_02_1,53	12_06_2,15	11_01_2,10	12_09_2,09	20_11_2,40	02_02_1,67	13_02_1,89	<b>286_08_3,65</b>
25	11_08_2,08	11_07_1,46	09_13_2,10	08_08_2,04	18_10_2,09	15_11_2,35	14_01_1,58	05_10_1,85	<b>285_20_3,63</b>
26	19_10_2,05	13_08_1,33	04_11_2,02	18_01_2,03	20_10_2,06	09_13_2,27	09_02_1,57	08_02_1,80	<b>287_03_3,61</b>
27	12_08_2,02	15_02_1,28	04_04_1,95	05_09_2,01	01_10_1,98	20_02_2,25	15_11_1,57	19_09_1,80	<b>288_10_3,60</b>
28	11_06_2,01	03_14_1,26	15_14_1,94	17_06_1,97	17_03_1,95	12_07_2,23	18_14_1,56	04_11_1,79	<b>288_16_3,59</b>
29	06_13_1,99	07_07_1,26	12_01_1,93	13_05_1,95	12_07_1,94	14_04_2,18	07_07_1,56	07_13_1,78	<b>336_10_3,57</b>
30	01_13_1,93	16_06_1,20	17_10_1,92	19_13_1,92	02_08_1,92	16_09_2,16	13_13_1,54	11_11_1,65	<b>286_07_3,55</b>

Nas famílias (bloco\_indivíduo\_DEP) e em todo o experimento GERAL (família\_bloco\_DEP).

**Tabela 7.** Melhores indivíduos para o atributo biomassa de touceira, em cana-planta, por família e em todo o experimento (geral), com base na diferença esperada predita (DEP).

Ranking	250	251	285	286	287	288	335	336	GERAL
1	<b>09_02_57,27</b>	<b>12_08_58,82</b>	<b>17_08_43,20</b>	<b>13_06_45,00</b>	13_04_26,09	17_08_28,25	<b>08_05_45,31</b>	<b>08_01_36,33</b>	<b>250_09_56,94</b>
2	<b>13_14_41,59</b>	<b>14_01_54,71</b>	<b>13_14_42,79</b>	<b>09_01_37,29</b>	07_07_25,78	11_07_26,95	<b>16_03_31,72</b>	<b>19_08_32,53</b>	<b>335_08_53,55</b>
3	<b>04_01_34,75</b>	<b>08_01_53,56</b>	<b>19_07_38,14</b>	<b>10_09_36,35</b>	12_01_24,94	18_03_25,64	02_07_23,86	10_07_27,28	<b>251_12_52,66</b>
4	<b>16_01_32,31</b>	<b>18_01_51,36</b>	<b>10_11_34,65</b>	<b>11_10_32,33</b>	20_07_24,04	11_01_25,41	14_14_18,40	14_01_25,65	<b>251_14_48,98</b>
5	<b>06_01_32,11</b>	<b>02_10_48,81</b>	<b>14_14_33,35</b>	15_14_29,26	20_01_21,25	09_07_24,24	19_13_17,33	13_02_23,68	<b>251_08_47,96</b>
6	07_14_30,82	<b>02_01_48,26</b>	19_14_31,79	07_13_28,83	01_10_20,44	13_05_23,48	15_08_16,33	02_07_23,66	<b>251_18_45,98</b>
7	18_06_30,19	<b>09_14_47,67</b>	16_08_26,54	19_14_28,25	11_08_19,67	06_14_20,54	07_09_16,21	01_13_21,91	<b>251_02_43,70</b>
8	19_05_27,32	<b>03_10_47,27</b>	07_07_25,98	11_14_26,92	08_04_19,54	19_07_20,54	09_14_15,38	15_08_19,97	<b>286_13_43,40</b>
9	01_08_27,22	<b>13_07_45,46</b>	02_14_25,31	09_07_25,79	06_14_17,60	20_01_19,56	11_09_14,75	08_07_19,33	<b>251_02_43,21</b>
10	20_01_25,97	<b>05_13_41,57</b>	04_01_25,05	17_01_25,38	13_13_16,05	15_05_19,25	09_07_13,72	10_08_18,94	<b>251_09_42,68</b>
11	03_08_24,82	<b>06_11_41,47</b>	05_08_24,25	18_14_25,24	03_03_15,49	03_06_18,95	13_07_13,13	12_01_17,88	<b>251_03_42,32</b>
12	03_07_22,85	<b>19_09_37,36</b>	04_07_23,38	09_14_24,94	19_09_15,18	14_01_18,52	12_01_12,92	17_14_17,05	<b>285_17_42,20</b>
13	02_01_20,14	11_09_34,45	10_07_23,13	16_06_24,05	13_01_14,65	20_07_18,48	04_08_12,46	03_07_16,75	<b>285_13_41,79</b>
14	19_13_18,30	15_03_34,40	01_09_22,69	08_08_23,99	04_06_14,47	01_01_16,52	05_12_12,21	04_07_16,21	<b>250_13_41,35</b>
15	10_14_17,54	08_10_33,89	01_10_22,52	14_10_23,90	18_01_14,27	12_04_16,25	02_02_12,13	03_02_16,14	<b>251_13_40,70</b>
16	11_09_16,91	10_11_33,43	20_01_21,51	19_06_23,68	04_12_14,20	06_07_16,06	14_06_12,05	16_01_16,11	<b>336_08_39,04</b>
17	14_07_15,98	06_13_32,55	19_01_18,93	01_06_23,15	12_07_13,91	19_01_15,90	03_04_11,56	18_08_16,07	<b>335_16_37,49</b>
18	12_14_15,95	13_05_32,17	03_10_18,81	08_13_22,29	14_02_13,70	15_08_15,85	06_09_11,41	12_07_16,05	<b>285_19_37,25</b>
19	20_03_15,47	10_01_31,43	20_08_18,67	09_05_21,05	18_13_12,60	05_02_15,81	19_10_10,91	01_06_15,99	<b>251_05_37,22</b>
20	05_07_15,46	05_09_30,46	19_09_18,43	15_07_20,80	07_13_12,38	18_08_15,28	18_07_10,75	20_14_15,54	<b>251_06_37,13</b>
21	11_07_14,94	01_04_30,17	18_13_18,36	05_08_20,72	12_14_11,96	08_06_15,16	20_08_10,46	20_07_14,93	<b>286_09_35,96</b>
22	01_11_14,59	16_11_29,16	06_13_17,51	14_02_19,68	16_01_11,90	01_09_14,67	17_07_10,16	02_01_12,89	<b>286_10_35,05</b>
23	14_09_14,51	12_06_28,76	08_14_17,23	12_09_19,60	12_05_11,68	10_08_14,18	05_09_10,01	08_08_12,50	<b>336_19_34,96</b>
24	17_03_14,10	12_14_28,58	11_14_17,06	04_06_18,42	15_10_11,48	17_14_14,03	10_01_9,79	09_11_11,97	<b>250_04_34,54</b>
25	07_01_14,08	17_03_26,88	06_07_16,84	05_05_18,35	14_07_11,19	08_08_13,93	04_14_9,22	17_07_11,89	<b>285_10_33,85</b>
26	15_07_12,95	18_04_26,22	18_07_16,69	12_02_18,07	05_13_11,08	10_14_13,87	03_01_9,21	13_07_11,84	<b>251_19_33,45</b>
27	15_06_12,79	07_14_24,43	09_12_16,60	18_12_17,46	10_04_10,91	02_06_13,73	11_08_8,95	01_02_11,44	<b>285_14_32,57</b>
28	19_07_12,56	17_11_24,15	11_07_16,56	06_04_17,11	09_14_10,57	03_08_13,39	01_04_8,36	01_01_10,98	<b>250_16_32,12</b>
29	18_09_12,31	16_14_23,70	11_06_16,23	16_01_16,60	02_04_10,03	01_14_12,96	06_06_8,23	01_08_10,98	<b>250_06_31,92</b>
30	02_14_12,10	05_05_22,26	09_01_15,94	01_14_16,55	07_08_10,01	05_08_12,71	04_04_7,36	06_14_10,85	<b>286_11_31,18</b>

Nas famílias (bloco\_indivíduo\_DEP) e em todo o experimento GERAL (família\_bloco\_DEP).



**Tabela 8.** Melhores indivíduos para o atributo biomassa de touceira, em cana-soca, por família e em todo o experimento (geral), com base na diferença esperada predita (DEP).

Ranking	250	251	285	286	287	288	335	336	GERAL
1	<b>18_06_45,83</b>	<b>10_01_50,53</b>	<b>14_07_38,40</b>	<b>17_13_39,17</b>	<b>20_14_17,47</b>	14_01_20,92	08_04_9,09	<b>19_09_34,58</b>	<b>250_18_44,16</b>
2	<b>07_07_45,63</b>	<b>02_01_49,94</b>	<b>18_14_37,80</b>	<b>11_01_34,38</b>	<b>19_09_16,77</b>	18_03_19,79	16_06_8,64	<b>16_01_30,55</b>	<b>250_07_43,97</b>
3	<b>09_02_41,02</b>	<b>17_03_48,54</b>	<b>20_13_37,45</b>	09_01_25,99	12_14_14,03	13_05_19,38	19_13_8,24	<b>01_14_30,51</b>	<b>251_10_41,22</b>
4	<b>16_01_35,70</b>	<b>18_03_43,42</b>	<b>17_08_34,77</b>	16_06_24,38	13_03_13,21	09_07_19,21	12_01_8,04	<b>18_06_30,22</b>	<b>251_02_40,74</b>
5	19_06_26,78	<b>18_05_41,09</b>	<b>10_07_29,49</b>	19_08_22,33	12_07_12,24	18_09_17,11	02_07_6,56	<b>15_08_29,60</b>	<b>251_17_39,60</b>
6	05_07_25,19	<b>11_01_40,23</b>	<b>03_10_28,42</b>	15_07_21,12	20_01_12,21	09_08_16,90	02_02_5,68	<b>13_02_28,72</b>	<b>250_09_39,53</b>
7	20_12_25,09	<b>14_01_37,14</b>	16_01_27,67	05_14_20,53	18_14_11,17	01_13_15,68	04_04_5,38	17_01_20,21	<b>286_17_38,25</b>
8	02_07_24,33	<b>09_13_35,15</b>	13_14_26,11	09_04_19,85	12_02_10,18	20_14_15,67	16_05_5,32	05_10_20,14	<b>336_19_35,62</b>
9	10_14_19,71	<b>17_11_32,79</b>	15_14_22,25	12_01_17,78	04_06_10,14	12_01_14,58	15_08_5,19	20_03_17,35	<b>251_18_35,42</b>
10	14_03_19,33	<b>15_03_31,75</b>	04_11_21,18	06_09_17,52	07_07_10,05	04_07_14,03	09_14_5,04	08_01_17,00	<b>285_14_35,02</b>
11	17_10_18,97	13_05_30,05	12_14_20,66	18_14_17,05	16_13_8,98	11_08_13,37	13_14_4,94	08_07_16,72	<b>285_18_34,46</b>
12	11_09_18,17	08_01_29,43	09_04_20,36	07_06_16,76	11_07_8,79	06_14_12,57	18_14_4,48	20_01_16,64	<b>250_16_34,40</b>
13	15_08_16,25	08_10_29,43	04_07_20,22	12_07_16,28	01_10_8,63	16_11_12,30	17_14_4,45	04_07_15,93	<b>285_20_34,15</b>
14	01_07_15,36	12_14_29,20	19_12_19,76	08_08_16,18	16_12_7,76	06_03_11,96	18_07_4,29	14_05_14,77	<b>286_11_33,56</b>
15	03_08_14,81	03_10_28,14	16_08_18,70	18_13_16,15	04_13_7,32	13_01_11,94	14_07_4,28	03_07_12,70	<b>251_18_33,52</b>
16	02_09_14,63	06_10_27,18	10_12_17,32	04_01_15,74	03_14_6,56	03_08_11,01	15_01_4,06	19_03_11,90	<b>251_11_32,83</b>
17	06_01_14,03	13_02_24,50	05_07_16,98	07_09_15,72	20_06_6,39	01_09_10,68	13_09_3,75	06_02_11,58	<b>285_17_31,70</b>
18	20_02_13,87	19_08_21,35	18_01_16,82	11_07_15,68	20_09_6,39	17_08_10,22	01_13_3,48	04_12_10,82	<b>336_16_31,46</b>
19	15_07_12,91	05_13_21,03	05_09_16,50	20_02_15,41	17_09_6,06	12_04_9,71	20_05_3,43	07_14_10,24	<b>336_01_31,43</b>
20	13_08_12,39	07_07_20,94	13_03_16,50	17_01_14,94	03_03_5,62	03_07_9,55	11_13_3,08	06_05_10,02	<b>336_18_31,12</b>
21	14_05_11,90	02_10_17,00	11_06_15,40	14_11_14,85	15_13_5,59	15_09_9,53	12_03_3,02	11_14_9,94	<b>336_15_30,49</b>
22	08_11_11,75	12_06_16,31	18_04_15,38	19_13_14,25	09_02_5,33	17_14_9,36	12_13_2,83	05_14_9,94	<b>251_14_30,30</b>
23	13_14_11,63	16_02_15,69	01_10_15,03	04_13_14,24	02_11_4,86	14_07_9,34	03_06_2,80	10_08_9,78	<b>336_13_29,58</b>
24	01_10_11,42	09_07_14,93	08_14_14,96	20_14_14,21	14_02_4,67	13_10_9,26	16_14_2,75	02_01_9,69	<b>251_09_28,68</b>
25	06_13_11,30	15_11_14,57	14_11_14,70	06_13_14,08	13_01_4,48	20_11_9,08	11_14_2,70	15_01_9,61	<b>287_20_27,17</b>
26	09_14_11,17	11_14_14,10	15_03_13,76	08_14_13,64	06_03_4,20	05_07_8,48	19_10_2,66	05_03_9,51	<b>285_10_26,89</b>
27	04_14_10,68	06_11_13,94	16_13_13,74	15_10_13,64	05_13_3,90	11_04_7,88	12_06_2,64	03_06_8,87	<b>251_17_26,75</b>
28	19_12_10,57	16_14_13,90	04_01_13,50	03_04_13,08	08_04_3,80	15_05_7,82	11_08_2,64	01_04_8,82	<b>287_19_26,08</b>
29	13_01_10,12	01_03_13,84	06_05_12,51	13_06_12,68	17_07_3,72	05_09_7,81	14_04_2,52	17_07_8,73	<b>285_03_25,91</b>
30	20_06_9,78	11_07_12,49	08_04_12,08	03_07_12,63	14_07_3,64	19_01_7,68	06_11_2,51	09_05_8,38	<b>251_15_25,90</b>

Nas famílias (bloco\_indivíduo\_DEP) e em todo o experimento GERAL (família\_bloco\_DEP).

**Tabela 9.** Melhores indivíduos para o atributo número de colmos, em cana-planta, por família e em todo o experimento (geral), com base na diferença esperada predita (DEP).

Ranking	250	251	285	286	287	288	335	336	GERAL
1	<b>03_07_0,36</b>	<b>19_06_0,86</b>	<b>13_01_0,56</b>	<b>09_14_0,49</b>	<b>19_08_0,51</b>	<b>04_08_0,28</b>	<b>16_12_0,62</b>	<b>02_08_0,39</b>	<b>335_16_0,74</b>
2	<b>06_14_0,31</b>	<b>07_04_0,79</b>	<b>01_13_0,51</b>	<b>11_07_0,49</b>	<b>10_11_0,48</b>	12_08_0,26	<b>08_10_0,49</b>	<b>10_08_0,30</b>	<b>336_02_0,67</b>
3	<b>16_14_0,31</b>	<b>13_08_0,79</b>	<b>18_08_0,48</b>	08_07_0,41	<b>06_01_0,45</b>	18_08_0,25	<b>12_14_0,42</b>	08_14_0,23	<b>335_08_0,59</b>
4	<b>18_09_0,30</b>	<b>15_12_0,76</b>	<b>19_01_0,46</b>	01_09_0,41	07_07_0,41	03_09_0,24	13_08_0,34	07_14_0,23	<b>251_19_0,54</b>
5	09_13_0,26	<b>08_05_0,75</b>	01_07_0,45	05_10_0,40	14_08_0,41	09_08_0,22	02_13_0,33	19_07_0,20	<b>336_10_0,52</b>
6	13_01_0,26	<b>03_05_0,74</b>	14_08_0,44	15_01_0,39	09_10_0,41	04_02_0,22	09_01_0,29	13_13_0,18	<b>250_03_0,51</b>
7	20_12_0,25	<b>12_09_0,72</b>	05_07_0,43	09_08_0,38	09_01_0,39	19_14_0,21	14_09_0,29	14_07_0,18	<b>285_13_0,51</b>
8	18_14_0,25	<b>19_14_0,70</b>	12_08_0,41	06_11_0,38	02_11_0,38	18_07_0,21	19_06_0,29	01_07_0,18	<b>335_12_0,50</b>
9	14_08_0,24	<b>08_14_0,68</b>	19_14_0,41	16_09_0,38	20_14_0,36	18_12_0,21	15_07_0,28	09_04_0,18	<b>287_19_0,50</b>
10	07_01_0,22	<b>05_02_0,67</b>	10_04_0,40	19_09_0,38	15_05_0,36	11_09_0,21	06_07_0,28	09_14_0,18	<b>251_07_0,50</b>
11	12_01_0,22	<b>05_06_0,67</b>	02_07_0,39	14_07_0,37	06_14_0,35	19_01_0,20	03_11_0,28	06_07_0,18	<b>251_13_0,49</b>
12	20_14_0,21	12_07_0,65	19_08_0,36	14_08_0,37	18_08_0,33	19_08_0,20	09_08_0,26	18_02_0,17	<b>287_10_0,48</b>
13	17_08_0,21	15_02_0,64	20_07_0,35	15_08_0,36	10_08_0,33	11_14_0,20	20_07_0,26	06_14_0,16	<b>251_15_0,48</b>
14	04_14_0,20	07_09_0,64	17_07_0,34	09_01_0,36	20_08_0,33	18_02_0,19	04_07_0,25	12_08_0,16	<b>251_08_0,47</b>
15	01_08_0,20	18_08_0,63	10_08_0,33	07_02_0,35	13_14_0,33	08_08_0,19	01_11_0,24	12_14_0,16	<b>285_01_0,47</b>
16	11_13_0,19	09_02_0,61	04_06_0,33	12_06_0,34	19_03_0,33	14_01_0,19	14_01_0,24	02_01_0,16	<b>251_03_0,46</b>
17	12_14_0,19	13_07_0,60	07_08_0,32	09_10_0,33	16_14_0,33	15_01_0,18	04_14_0,23	02_07_0,16	<b>286_09_0,46</b>
18	17_07_0,18	10_04_0,59	20_14_0,32	20_01_0,32	17_08_0,33	10_09_0,17	06_09_0,23	03_02_0,16	<b>286_11_0,46</b>
19	15_13_0,18	20_13_0,58	09_03_0,32	13_12_0,32	04_03_0,32	06_08_0,17	10_01_0,22	15_14_0,15	<b>251_12_0,45</b>
20	06_09_0,18	09_08_0,57	08_01_0,31	12_13_0,32	06_08_0,31	11_08_0,16	08_14_0,22	08_08_0,15	<b>250_06_0,45</b>
21	01_01_0,18	17_12_0,57	08_08_0,31	17_14_0,30	18_14_0,31	10_01_0,16	17_08_0,22	17_14_0,15	<b>287_06_0,44</b>
22	19_02_0,18	12_01_0,56	03_13_0,29	04_09_0,30	15_13_0,29	12_07_0,15	11_06_0,21	13_08_0,15	<b>250_16_0,44</b>
23	19_10_0,18	03_11_0,54	10_12_0,29	20_07_0,29	18_02_0,29	12_13_0,15	02_06_0,21	01_09_0,15	<b>285_18_0,44</b>
24	09_08_0,17	02_05_0,54	06_08_0,29	13_09_0,29	01_05_0,28	13_01_0,15	15_14_0,21	04_08_0,14	<b>251_19_0,44</b>
25	07_14_0,17	14_14_0,53	14_07_0,29	07_14_0,28	05_05_0,27	17_07_0,15	03_14_0,21	11_07_0,14	288_04_0,43
26	14_14_0,16	11_08_0,52	09_07_0,29	11_01_0,28	05_14_0,27	01_01_0,14	07_01_0,20	20_01_0,14	<b>251_08_0,43</b>
27	11_08_0,15	06_04_0,51	01_05_0,28	19_01_0,27	13_11_0,27	01_07_0,14	07_06_0,20	20_07_0,14	<b>250_18_0,42</b>
28	03_08_0,15	17_05_0,51	18_06_0,27	17_04_0,27	16_08_0,26	20_13_0,14	16_14_0,20	18_07_0,14	<b>285_19_0,42</b>
29	13_08_0,15	18_11_0,51	13_09_0,27	17_07_0,27	07_08_0,26	15_07_0,14	12_02_0,20	16_09_0,13	<b>251_05_0,42</b>
30	02_14_0,14	02_14_0,50	12_12_0,26	16_14_0,26	07_11_0,26	15_08_0,14	18_08_0,20	01_02_0,13	<b>251_05_0,42</b>

Nas famílias (bloco\_indivíduo\_DEP) e em todo o experimento GERAL (família\_bloco\_DEP).

#### 4. CONCLUSÕES

- As predições das famílias mostraram variabilidade para número de colmos, brix e biomassa de touceira, o que permite seleção.
- Entre os parentais avaliados, recomenda-se a utilização do parental feminino IACSP01-2419 e o parental masculino IACSP95-5000 para desenvolvimento de cultivares com alto teor de brix associado a alta produtividade de biomassa de touceira.
- O cultivar RB966928 foi o parental masculino de 37% dos trinta melhores indivíduos para brix.

## REFERÊNCIAS

BARBOSA, M.H.P.; RESENDE, M.D.V.; BRESSIANI, J.A.; SILVEIRA, L.C.I.; PETERNELLI, L.A.; Selection of sugarcane families and parents by REML/BLUP. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.5, p.443-450, 2005.

BRESSIANI, J.A. **Seleção Sequencial em cana-de-açúcar**. Piracicaba: 2001. 159f. Tese (Doutorado em Agronomia), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queirox, Universidade de São Paulo.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra Brasileira Cana-de-açúcar**, v. 3 - Safra 2016/17, n. 3 - Terceiro levantamento. Brasília, 2016. p. 1-74.

DUARTE, J. B.; VENCOVSKY, R.; DIAS, C. T. S. Estimadores de componentes de variância em delineamento de blocos aumentados com tratamentos novos de uma ou mais populações. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 9, P. 1155-1167, 2001.

FAN, X.Y.; ZANG, Y.; YAO, W.; BI, Y.; LIU, L.; CHEN, H.; KANG, M. Reciprocal diallell crosses impact combining ability, variance estimation and heterotic group classification. **Cropscience**, v. 54, p. 89-97, 2014.

HSU, S. Y; HOUR, A. L.; WANG, T.H. Heritability and modes of inheritance of brix in sugarcane seedlings. **Proc. ISSCT**, p. 286-292, 1995.

MUKANGA, M.J.; DERERA, D.J.; TONGOONA, P. Gene action and reciprocal effects for ear rot resistance in crosses derived from five tropical maize populations. **Euphytica**, v.174, p.293-301, 2010.

OLIVEIRA, R.A. **Seleção de famílias de maturação precoce em cana-de-açúcar via REML/BLUP**. Curitiba: 2007. 127f. Tese (Doutorado em Agronomia).

PERECIN, D.; LANDELL, M.G.A.; XAVIER, M.A.; ANJOS, I.A. dos; BIDÓIA, M.A.P; SILVA, D.N. da. Progresso agrônômico e genético em programa de melhoramento de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Biometria**, v.27, p.279-287, 2009.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 3. ed. Lavras: UFLA, 2012. 326p.

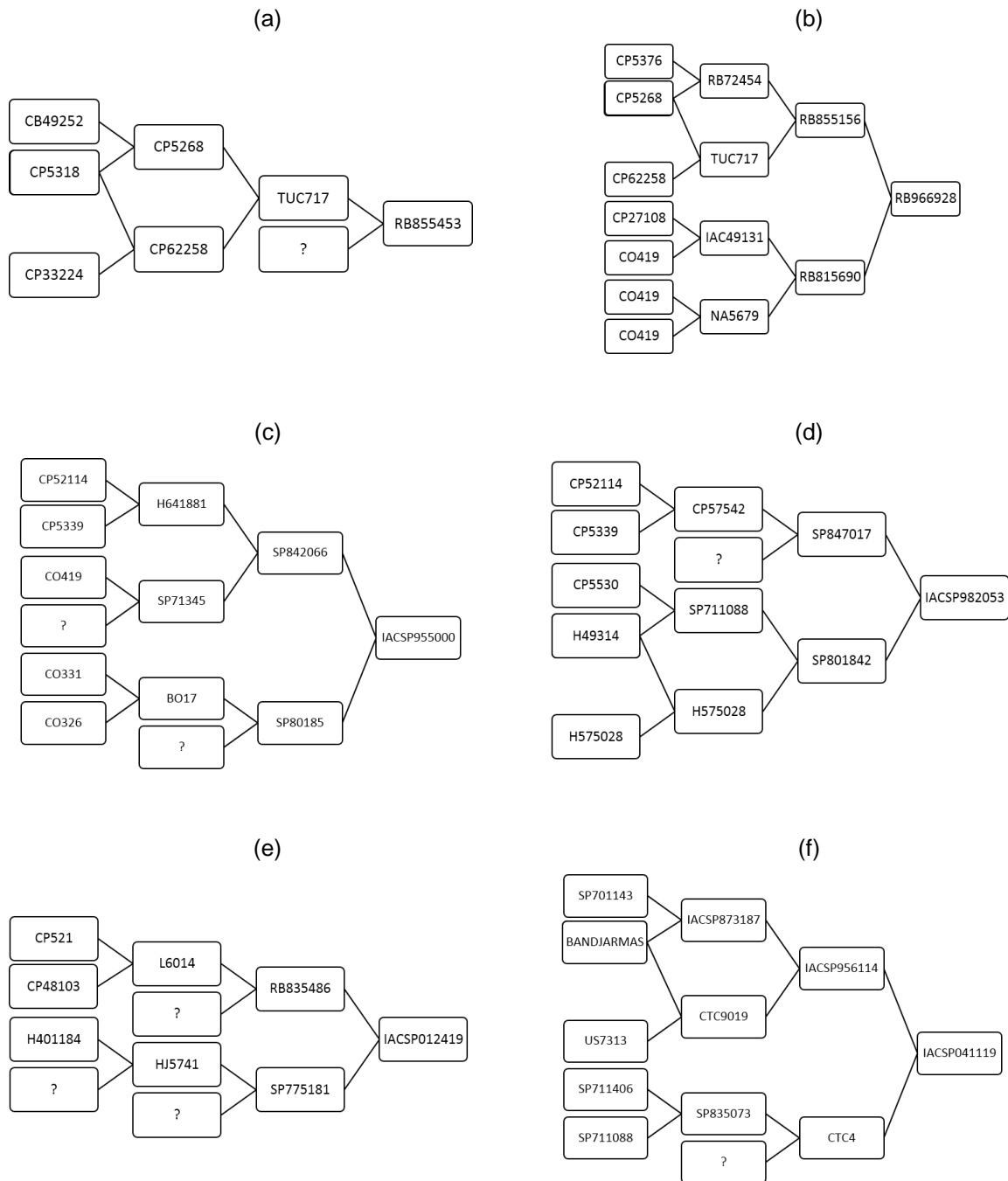
SAS Institute Inc. **The SAS System**, release 9.3. SAS Institute Inc., Cary: NC, USA, 2013.

XAVIER, M. A. **Ponto de mérito de família, parâmetros genéticos e Identificação de genitores masculinos em policruzamentos de cana-de-açúcar**. 2011, 80p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal.

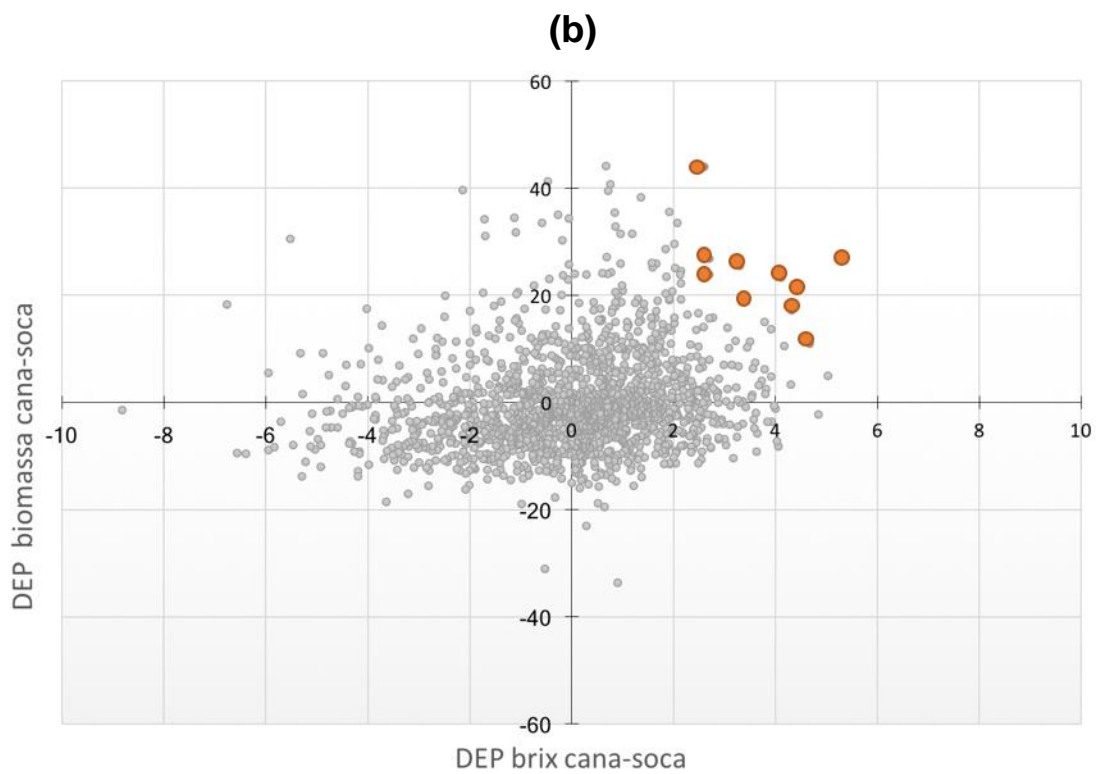
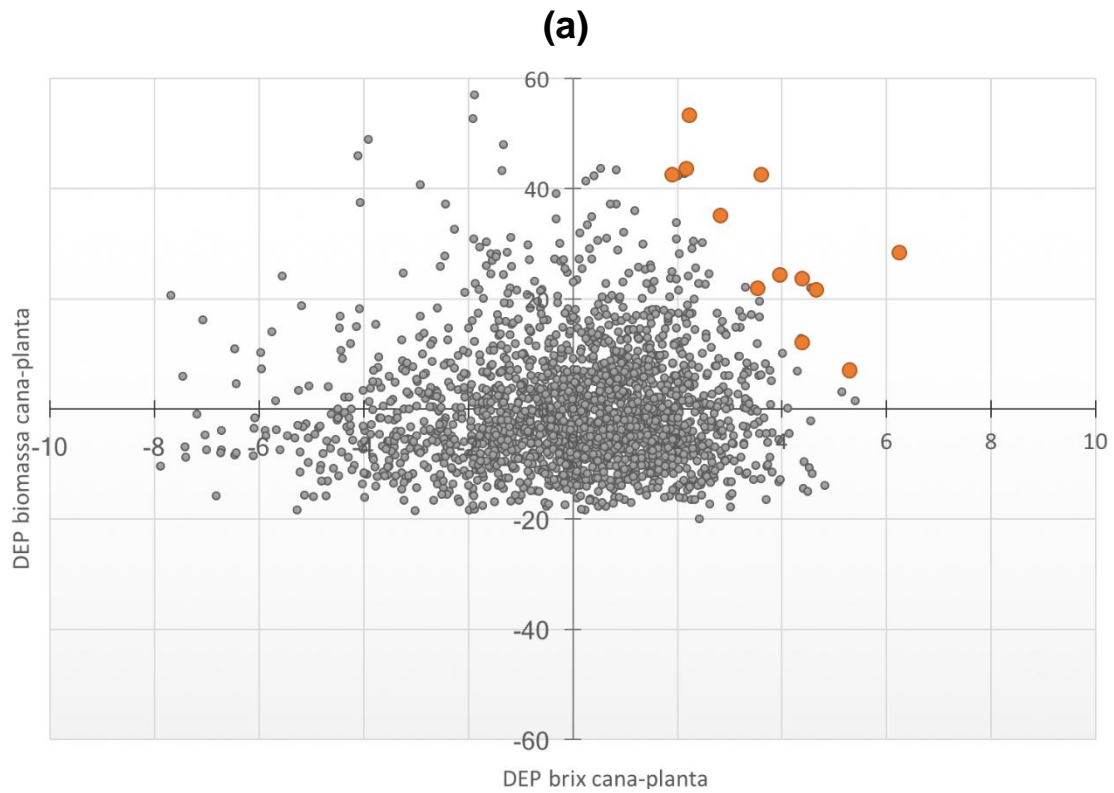
XAVIER, M. A.; PERECIN, D.; ALVIM, K. R. T.; LANDELL, M. G. A.; ARANTES, F. C. Seleção de famílias e progênies de irmãos completos de cana-de-açúcar para atributos tecnológicos e de produção pelo método de REML/BLUP. **Bragantia**, v. 73, n.3, p. 253-262, 2014.

WU, K.K.; HEINZ, D. J.; MEYER, H. K.; LADD, S. L. Combining ability and Genitor Evaluation in Five Selected Clones of Sugarcane (*Saccharum* sp. Hybrids). **Theoretical and Applied Genetics**, v. 56, n. 6, p.241-244, 1980.

## APÊNDICE



**Apêndice 1.** Genealogia das cultivares de cana-de-açúcar utilizadas como parentais neste estudo. Em que: a) RB855453; b) RB966828; c) IACSP95-5000; d) IACSP98-2053; e) IACSP01-2419 e f) IACSP04-1119.



**Apêndice 2.** Melhores indivíduos com base na DEP composta para os atributos brix e biomassa. (a): cana-planta; (b): cana-soca



**Mapa de Plantio e Levantamento - ANA CAROLINA R. GUIMARAES**Sequência : *Avaliação de cruzamentos recíprocos*Fazenda : *IAC - Centro de Cana Talhão/Sub : a definir*Sulcos : *2 Compr. : 3,5 Espaçamento : 1,5 Entre plantas : 0,5*Conjunto : *1 Plantio : 19/03/2014 Responsável : ACRG*

Levantamento : \_\_\_\_\_ Data : \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	<b>B1</b> 121 335	141 336	101 288	<b>B5</b> 165 Padrão	85 287	145 336	<b>B9</b> 109 288	9 250	129 335	<b>B13</b> 73 286	173 Padrão	133 335	<b>B17</b> 17 250	137 335	97 287
2	161 Padrão	41 285	1 250	125 335	25 251	45 285	89 287	29 251	149 336	13 250	53 285	33 251	177 Padrão	117 288	77 286
3	81 287	61 286	21 251	65 286	105 288	5 250	69 286	169 Padrão	49 285	93 287	153 336	113 288	157 336	37 251	57 285
4	<b>B2</b> 62 286	2 250	122 335	<b>B6</b> 6 250	66 286	46 285	<b>B10</b> 110 288	90 287	150 336	<b>B14</b> 74 286	174 Padrão	94 287	<b>B18</b> 78 286	128 250	98 287
5	42 285	82 287	162 Padrão	86 287	126 335	106 288	130 335	170 Padrão	50 285	34 251	134 335	14 250	38 251	158 336	138 335
6	22 251	102 288	142 336	166 Padrão	146 336	26 251	70 286	10 250	30 251	114 288	154 336	54 285	58 285	178 Padrão	118 288
7	<b>B3</b> 123 335	63 286	43 285	<b>B7</b> 107 288	7 250	27 251	<b>B11</b> 91 287	171 Padrão	31 251	<b>B15</b> 15 250	75 286	35 251	<b>B19</b> 179 Padrão	139 335	19 250
8	3 250	143 336	83 287	87 287	67 286	127 335	111 288	51 285	131 335	55 285	155 336	115 288	59 285	79 286	119 288
9	23 251	103 288	163 Padrão	147 336	167 Padrão	47 285	71 286	151 336	11 250	175 Padrão	95 287	135 335	99 287	159 336	39 251
10	24 251	144 336	44 285	<b>B8</b> 68 286	88 287	168 Padrão	<b>B12</b> 32 251	132 335	152 336	<b>B16</b> 116 288	96 287	176 Padrão	<b>B20</b> 20 250	180 Padrão	100 287
11	4 250	164 Padrão	64 286	28 251	148 336	8 250	92 287	172 Padrão	12 250	56 285	36 251	136 335	160 336	140 335	80 286
12	104 288	84 287	124 335	108 288	128 335	48 285	72 286	52 285	112 288	156 336	16 250	76 286	40 251	120 288	60 285

**Apêndice 3.** Mapa de plantio e levantamentos.