

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE FENOTÍPICA DE CLONES DE
CANA-DE-AÇÚCAR NO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL POR
MEIO DE METODOLOGIA MULTI-INFORMAÇÃO**

CLODOMIRO NICÁCIO DO NASCIMENTO JÚNIOR

JÉSSICA MARIA DOS SANTOS

DOURADOS

MATO GROSSO DO SUL

2022

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE FENOTÍPICA DE CLONES DE
CANA-DE-AÇÚCAR NO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL POR
MEIO DE METODOLOGIA MULTI-INFORMAÇÃO**

CLODOMIRO NICÁCIO DO NASCIMENTO JÚNIOR

JÉSSICA MARIA DOS SANTOS

Orientadora: Profa. Dra. Livia Maria Chamma Davide

Coorientador: João Carlos Civiero

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal da Grande Dourados, como
parte dos requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Agrônomo.

Dourados

Mato Grosso do Sul

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

Nascimento Júnior, Clodomiro Nicácio do

Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de clones de cana-de-açúcar no Estado de Mato Grosso do Sul por meio de metodologia multi-informação. / Clodomiro Nicácio do Nascimento Júnior, Jéssica Maria dos Santos. – Dourados, 2022.

Orientador: Profa. Dra. Livia Maria Chamma Davide

TCC (Graduação) Agronomia – Faculdade de Ciências Agrárias - Universidade Federal da Grande Dourados.

1. Interação genótipos x ambientes. 2. Melhoramento de espécie semi-perene. 3. *Saccharum spp.* I. Título.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central – UFGD.

©Todos os direitos reservados. Permitido a publicação parcial desde que citada a fonte.

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE FENOTÍPICA DE CLONES DE
CANA-DE-AÇÚCAR NO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL POR
MEIO DE METODOLOGIA MULTI-INFORMAÇÃO**

Por

CLODOMIRO NICÁCIO DO NASCIMENTO JÚNIOR

JÉSSICA MARIA DOS SANTOS

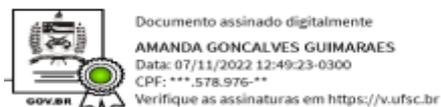
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos exigidos para
obtenção do título de ENGENHEIRO AGRÔNOMO

Aprovado em: 03 de outubro de 2022



Profa. Dra. Livia Maria Chamma Davide

Orientadora – UFGD/FCA



Profa. Dra. Amanda Gonçalves Guimarães

Membro da banca – UFSC/CBA



João Carlos Civiero

Membro da banca – RIDESA/UFSCar

Ronaldo de Araujo

Ronaldo de Araujo

Membro da banca – RIDESA/UFSCar

Dedicatória

Dedico este trabalho a Deus; sem ele eu não teria capacidade para desenvolver este trabalho, aos meus pais, pois é graças ao seu esforço que hoje posso concluir essa etapa e todos os que me ajudaram ao longo desta caminhada.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, à Deus, que fez com que nossos objetivos fossem alcançados, durante todos os anos de estudos.

Aos nossos pais e irmãos, que nos incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam a nossa ausência enquanto dedicávamos à realização deste trabalho.

A professora Livia Maria Chamma Davide, por ter sido minha orientadora, pelas correções, ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional ao longo do curso e desempenhado tal função com dedicação e amizade.

Às pessoas com quem convivi ao longo desses anos de curso, que nos incentivaram e que certamente tiveram impacto na minha formação acadêmica.

Aos nossos colegas de turma, por compartilharem conosco tantos momentos de descobertas e aprendizado e por todo o companheirismo ao longo deste percurso.

Ao Grupo de Pesquisa em Melhoramento e Biotecnologia Vegetal (GMBV) que contribuiu em muito com minha formação como profissional e pessoal.

A todos os membros da empresa RIDESA UFSCar, em especial ao Professor Dr. Hermann Paulo Hoffmann pela oportunidade de estagiarmos no setor de cana-de-açúcar e nos permitir ganhar conhecimento juntos os profissionais da rede de pesquisa.

As Usinas parceiras da RIDESA UFSCar pela concessão das áreas experimentais e condução dos ensaios.

Aos pesquisadores do Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-açúcar da RIDESA.UFSCar pelo fornecimento de dados e informações necessárias para o desenvolvimento deste trabalho, em particular ao João Carlos Civiero o qual nos auxiliou de forma excepcional, pelo apoio técnico na condução dos trabalhos.

À FAI.UFSCar (Fundação de Apoio Institucional ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela concessão das bolsas de extensão aos dois autores.

Epígrafe

Uma paixão forte por qualquer objeto assegurará o sucesso, porque o desejo pelo objetivo mostrará os meios.

William Hazlitt

NICACIO, Clodomiro; SANTOS, Jéssica. **ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE FENOTÍPICA DE CLONES DE CANA-DE-AÇÚCAR NO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL POR MEIO DE METODOLOGIA MULTI-INFORMAÇÃO**. 2022. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrônômica) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2022.

RESUMO

A adaptabilidade e estabilidade de diferentes genótipos é utilizada pelos melhoristas para auxiliar na recomendação de cultivares. Para isto, vários métodos foram propostos e a utilização dessas metodologias de forma simultâneas parece permitir extrair informações mais consistentes do que o uso de cada metodologia em separado. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo estudar a adaptabilidade e estabilidade de genótipos de cana-de-açúcar quanto à produtividade de colmos de cana por hectare (TCH) em quatro ambientes do Mato Grosso do Sul e identificar os genótipos superiores por meio do critério de multi-informação. Os dados de TCH foram coletados na safra 2018/2019, em lavouras de terceiro corte, da Fase de Experimentação (FE) do Programa de Melhoramento de Cana-de-açúcar da Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucoenergético (RIDESA/UFSCar). Foram avaliados seis clones (G1, G2, G3, G4, G5e G6) de maturação precoce e duas variedades comerciais (G7 - RB855156 e G8 - RB966928). O delineamento utilizado foi de blocos a caso com três repetições. A partir dos dados foi obtida a análise de variância conjunta. A adaptabilidade e estabilidade dos genótipos foi avaliada por multi-informação, que incluiu 10 parâmetros sendo a média geral, potencial médio em diferentes condições ambientais (PM), plasticidade, medida da contribuição relativa para a interação, índice de recomendação Annicchiarico, adaptabilidade percentual, estabilidade percentual, padrão J de resposta do genótipo (PJR), padrão campeão e índice de recomendação centroide. Os genótipos G3, G4, G6, G7 e G8 apresentaram estabilidade alta e adaptação específica a ambientes de altos rendimentos, como os ambientes 1 (Ivinhema – MS) e 3 (Fazenda “N.O.”, Nova Andradina – MS) O genótipo G6 supera em produtividade os genótipos padrão G7 e G8 (RB966928) - ambas variedades comerciais. Os genótipos G1, G2 e G5 apresentam estabilidade alta, adaptação específica a ambientes de baixos rendimentos como 2 (Rio Brilhante –MS) e 4 (Fazenda “E.”, Nova Andradina – MS).

Palavras-chave: interação genótipos x ambientes, melhoramento de espécie semi-perene, *Saccharum spp*

ABSTRACT

The adaptability and stability of different genotypes is used by breeders to assist in the recommendation of cultivars. For this, several methods were proposed and the use of these methodologies simultaneously seems to allow extracting more consistent information than the use of each methodology separately. Thus, the present work aims to study the adaptability and stability of sugarcane genotypes regarding the productivity of sugarcane stalks per hectare (TCH) in four environments in Mato Grosso do Sul and to identify the superior genotypes by means of the multi-information criterion. TCH data were collected in the 2018/2019 harvest, in third-cut crops, from the Experimentation Phase (EF) of the Sugarcane Improvement Program of the Interuniversity Network for the Development of the Sugar-Energy Sector (RIDESA/UFSCar). Six early maturing clones (G1, G2, G3, G4, G5e G6) and two commercial varieties (G7 - RB855156 and G8 - RB966928) were evaluated. The design used was of blocks by case with three replications. From the data, joint analysis of variance was obtained. The adaptability and stability of the genotypes was evaluated by multi-information, which included 10 parameters being the general average, average potential in different environmental conditions (PM), plasticity, measure of the relative contribution to the interaction, Annicchiarico recommendation index, percentage adaptability, percent stability, genotype response J pattern (PJR), champion pattern and centroid recommendation index. Genotypes G3, G4, G6, G7 and G8 showed high stability and specific adaptation to high-yield environments, such as environments 1 (Ivinhema - MS) and 3 ("N.O." farm, Nova Andradina – MS). The G6 genotype excels in productivity the standard genotypes G7 and G8 (RB966928) - both commercial varieties. The genotypes G1, G2 and G5 show high stability, specific adaptation to low-yield environments such as 2 (Rio Brillhante – MS) and 4 ("E." farm, Nova Andradina – MS,).

Keywords: genotypes x environments interaction, semi-perennial species breeding, *Saccharum spp*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - A) Propágulo de cana-de-açúcar e partes da espiga; B) Cariopse (fruto) da cana; C) Panícula. Fonte: Klei Sousa, Alellyx citado por Cheavegatti-Gianottoe, 2011; Rulkens, 2010 citado por Thomas, 2016.	17
Figura 2 - Descrição dos ambientes produtivos segundo BERTOLANI et al. (2015).....	19
Figura 3 - Fluxograma das fases do programa de melhoramento genético de cana-de-açúcar realizado pelas universidades que integram a RIDESA. Fonte: Barbosa et al., 2005.....	23
Figura 4 - Distribuição dos quatro campos experimentais localizados nos municípios de Ivinhema, Nova Andradina e Rio Brillhante, no Estado de Mato Grosso do Sul.....	29
Figura 5 - Temperatura média (°C) e pluviosidade (mm) coletados no período terceiro corte, referente aos anos de 2018 e 2019, nos campos experimentais instalados em Rio Brillhante, Ivinhema e Nova Andradina – MS. Fonte: Instituto Nacional de meteorologia (INMET).....	30
Figura 6 - Média de tonelada de colmo por hectares (TCH) obtidas em oito genótipos de cana-de-açúcar avaliados em quatro ambientes no Mato Grosso do Sul, safra 2018/19, agrupadas de acordo com o teste de Scott e Knott (1974). Valores seguidos da mesma letra pertencem a um mesmo grupo.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Descrição dos quatro ambientes onde foram instaladas a fase experimental (FE) do Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-Açúcar da RIDESA/UFSCar.....	30
Tabela 2 - Resumo da análise de variância conjunta e média geral de toneladas de cana por hectares (TCH) de oito genótipos de cana-de-açúcar, obtido no terceiro corte, nas fases de experimentação (FE), conduzido em quatro locais na safra 2018/19.....	33
Tabela 3 - Média ambiental e índice ambiental (Ij) de quatro locais utilizados na fase de experimentação (FE) para avaliar oito genótipos de cana-de-açúcar quanto à toneladas de cana por hectares (TCH) na safra 2018/19.....	34
Tabela 4 - Ficha de recomendação genotípica fundamentada em análise multi-informação de oito genótipos de cana-de-açúcar em relação à característica tonelada de cana hectare (TCH) avaliada em 4 ambientes do Mato Grosso do Sul.....	36

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2.	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	Centro de Origem, Diversidade e Constituição Genética	15
2.2	Descrições Botânica do Gênero <i>Saccharum</i>	16
2.3	Cultivo da Cana-de-Açúcar	17
2.4	Produção e Produtividade de Cana-de-Açúcar no Brasil	19
2.5	Melhoramento de Cana-de-Açúcar	20
2.5.1	Interação Genótipos por Ambientes	23
2.5.2	Adaptabilidade e Estabilidade	24
3.	MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1	Obtenção dos Dados e Detalhes Experimentais	29
4.	RESULTADO E DISCUSSÃO	33
5.	CONCLUSÕES	41
6.	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	42

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar no mundo, os estados produtores se destacam o Sudeste e Centro-Oeste, maior parte da produção concentrada na região de São Paulo (CONAB, 2021). Parte desse resultado se deve aos programas de melhoramento genético que têm por objetivo desenvolver variedades mais resistentes, produtivas e aptas a serem cultivadas em ambientes distintos. Para isso, é necessário que antes do lançamento de uma nova variedade essa seja testada em diferentes ambientes. Isso por que os genótipos podem apresentar comportamento mais efetivo em determinados ambientes do que em outros (GUIMARÃES, 2010) o que caracteriza a interação genótipos por ambientes (G x A).

A interação G x A é um problema enfrentado pelos melhoristas de plantas, não só da cana, mas como de qualquer outra espécie. Segundo Cruz e Carneiro (2006) para amenizar essa influência da interação é necessário recomendar cultivares com ampla adaptabilidade e estabilidade, ou seja, genótipos que apresentem bons rendimentos em ambientes desfavoráveis, mas com capacidade de responder as melhorias das condições ambientais.

Alguns autores desenvolveram diferentes conceitos e métodos para avaliação de adaptabilidade e estabilidade fenotípica. De acordo com Cargnelutti Filho et al. (2007) os métodos podem ser classificados com base em: a) análise de variância (YATES; COCHRAN, 1938; PLAISTED; PETERSON, 1959; WRICKE, 1965), b) regressão linear (FINLA E WILKINSON, 1963; EBERHART; RUSSELL, 1966; TAI, 1971), c) regressão bissegmentada (VERMA et al., 1978; SILVA; BARRETO, 1985; CRUZ et al., 1989) e estatísticas não paramétricas (LIN; BINNS, 1988; HUEHN, 1990; ANNICCHIARICO, 1992; ROCHA et al., 2005; NASCIMENTO et al., 2010; NASCIMENTO et al., 2015).

Os melhoristas utilizam desses métodos para identificar os efeitos da interação G x A e estimar a estabilidade e adaptabilidade dos genótipos em uma região (FERNANDES JR et al., 2003). Alguns autores ainda comparam os resultados obtidos nos diferentes métodos, o que não é recomendado, uma vez que cada metodologia visa apresentar respostas a diferentes perguntas (PONTES, 2020).

Buscando ser mais assertivo na seleção de genótipos de cana-de-açúcar e considerando a adaptabilidade e estabilidade é interessante utilizar a proposta de recomendação baseada em uma ficha multi-informação, que considere várias metodologias ao invés de uma só na tomada

de decisão de qual genótipo recomendar para cada local possibilitando extrair informações que de forma individual poderiam não ser obtidas (PONTES, 2020).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é avaliar a adaptabilidade e estabilidade de genótipos de cana-de-açúcar quanto à produtividade de colmos de cana por hectare (TCH) em diferentes ambientes do Mato Grosso do Sul e identificar genótipos superiores por meio do critério de multi-informação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Centro de Origem, Diversidade e Constituição Genética

O gênero *Saccharum* foi descrito por Carl Linnaeus no livro *Species Plantarum* publicado em 1753. O nome dado refere-se a palavra grega *sakcharon*, que significa açúcar. Esse gênero pertence à família *Poaceae* (ou *Graminea*), subfamília *Panicoideae*, tribo *Andropogoneae*, subtribo *Sacharinae* e grupo *Saccharastrae* (AMALRAJ; BALASUNDARAM, 2006).

A literatura apresenta divergências quanto ao centro de origem do gênero *Saccharum*, provavelmente, em função de este ter surgido antes das formações e localizações dos continentes atuais. Muhherjee (1957) cita a Ásia como provável centro de origem. Porém, Cheavegatti-Gianotto (2011) cita como o provável centro de origem a Polinésia.

O Velho Mundo (Ásia e África) e o Novo Mundo (América do Norte, Central e do Sul) são considerados os centros de diversidade do gênero *Saccharum* (CHEAVEGATTI-GIANOTTO et al., 2011). Na Ásia se encontra a maior diversidade da espécie, em torno de 25 espécies distintas. Na América do Norte tem-se 6 espécies nativas e 4 a 5 espécies introduzidas (WEBSTER; SHAW 1995). De forma semelhante, na América Central verifica-se 3 a 4 espécies nativas e algumas introduzidas. Na África há 2 espécies nativas e na Austrália observa-se uma espécie naturalizada (BONNETT et al., 2008; DARKE 1999; WEBSNER; SHAW 1995).

As espécies brasileiras não estão bem caracterizadas. Levantamentos florísticos descreveram sete espécies nativas - *S. asperum*, *S. angustifolium*, *S. purpureum*, *S. biaristatum*, *S. glabrinodis*, *S. clandestinus* e *S. villosum* (SMITH et al., 1992). Contudo, apenas duas destas espécies, *S. angustifolium* e *S. villosum*, tem sido reconhecidas pela comunidade científica (THE PLANT LIST, 2010).

As espécies *S. officinarum* e *S. spontaneum*, originárias do Sudeste Asiático (ROACH; DANIELS 1987), são as principais fontes de genoma para as variedades modernas de cana-de-açúcar. Essas espécies foram escolhidas por apresentarem características interessantes. A primeira possui alto teor de açúcar e, a segunda, bom vigor e adaptação a diversas condições de estresse ambiental. A *S. officinarum* é um octoplóide ($2n=80$), com número básico de cromossomos igual a 10 ($x=10$). Na espécie *S. spontaneum*, o número básico de cromossomos é de 8 ($x=8$). Entretanto tem-se uma ampla variação no número de citótipos ($2n=40-128$) (D'HONT et al., 1996; METCALFE et al., 2019).

Após o cruzamento entre *S. officinarum* e *S. spontaneum* os híbridos F₁ foram retrocruzados ao *S. officinarum* em um processo conhecido como nobilitação. Estes híbridos apresentam uma constituição 2n+n, sendo duas cópias do genoma de *S. officinarum* e uma cópia do genoma de *S. spontaneum*. Em função do número básico de cromossomos das duas espécies serem diferentes os híbridos F₁ são poliploides e aneuploides, com 100 a 120 cromossomos (D'HONT et al., 1998).

Em suma, as cultivares atuais de cana (*Saccharum spp.*) apresentam um genoma poliploide e aneuploide, constituído por um conjunto cromossômico interespecífico, porem desigual, com predomínio da espécie *S. officinarum* (HOANG et al., 2015). Diversos fatores dificultam os estudos genéticos em cana-de-açúcar: o elevado nível de ploidia (2n = 100 a 130) com a ocorrência de aneuploidia e elevado grau de complexidade dos híbridos interespecíficos, dificuldade no controle da hibridação (GRIVET; ARRUDA, 2001); tornando o melhoramento genético da cultura um grande desafio para os melhoristas (ALBINO et al., 2006).

2.2 Descrições Botânica do Gênero *Saccharum*

As plantas de cana-de-açúcar possuem caules ou colmos suculentos, com nós e entrenós, alta concentração de sacarose e podem chegar a aproximadamente seis metros de comprimento (MONGELARD 1968; THOMPSON 1964; MOORE; NUSS 1987). A morfologia dos colmos possui alta variabilidade genética podendo ser útil na caracterização varietal (MARTIN, 1961), assim como a distribuição dos tricomas, a forma da lígula e aurículas. As folhas são alternadas e presas ao caule, havendo uma folha por entrenó.

A inflorescência dos híbridos da cana é uma panícula ramificada com várias pequenas espiguetas sésseis, que formam uma estrutura piramidal (Figura 1). A haste principal é chamada flecha, que é a continuação do último internódio. As espiguetas podem variar de bissexuadas até unissexuadas (VAN DILLEWIJN, 1952; AMARAL et al., 2012) contendo estruturas importantes para a dispersão das sementes denominadas de tricomas. As espiguetas são compostas de um androceu com três estames e um gineceu com um ovário e dois estigmas com coloração de vermelha a arroxeada (BLACKBURN, 1984; AMARAL et al., 2012).

A cana-de-açúcar é considerada alógama, hermafrodita, porém híbridos da cultura podem possuir flores femininas ou masculinas, com pólen viável ou não, dependendo da região de cultivo (GEPTS; PAPA, 2003). O fruto é unicarpelar e a propagação das sementes ocorre pelo do vento, o que facilita a dispersão das espécies (RAWITSCHER, 1953).

O sistema radicular é composto por raízes adventícias e raízes permanentes fasciculadas. As primeiras raízes que se desenvolvem após o plantio são responsáveis pela fixação, sua origem vem dos primórdios radiculares da zona radicular dos toletes plantados (BACCHI, 1983; CASTRO; KLUGE, 2001).

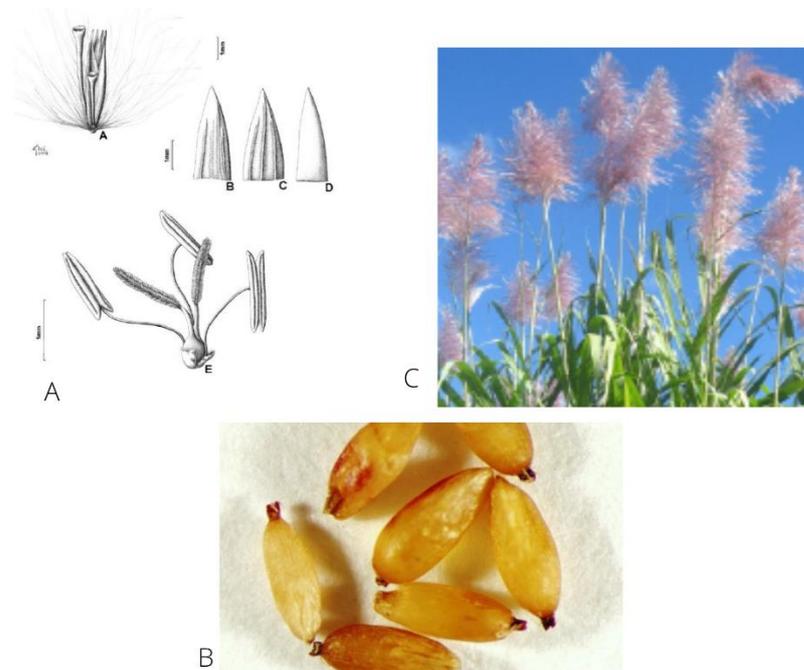


Figura 1 - A) Propágulo de cana-de-açúcar e partes da espiga; B) Cariopse (fruto) da cana; C) Panícula. Fonte: Klei Sousa, Alellyx citado por Cheavegatti-Gianottoe, 2011; Rulkens, 2010 citado por Thomas, 2016.

2.3 Cultivo da Cana-de-Açúcar

A cana-de-açúcar é classificada como uma cultura semi-perene (DOOREMBOS; KASSAM, 1994). Sua reprodução é via assexuada por propagação vegetativa (HANAUER, 2011). Sendo a cana uma planta de metabolismo C4, isso é considerada altamente eficiente na conversão de energia radiante em energia química (primeiro composto orgânico formado da fotossíntese é uma molécula de quatro carbonos que pode ser malato ou aspartato) (MAGRO et al, 2011). Possui ciclo que pode variar de 4 a 9 anos, de acordo com o tipo de solo, das condições de manejo adotadas e do período para renovação do canavial. O primeiro corte é realizado com 12 meses após o plantio (MANZATTO et al., 2009).

O fotoperíodo, por exemplo, é o principal fator ambiental responsável pela indução floral da cana-de-açúcar. Essa ocorre, principalmente, em condições em que o comprimento do dia está encurtando e as plantas estão concluindo o período vegetativo (ARALDI et al., 2010;

CLEMENTS; AWADA, 1967). Para a indução floral, o fotoperíodo também se relaciona com outros fatores como umidade, nutrição e temperatura (MOORE, 1987; MOORE; NUSS, 1987). No caso da temperatura, valores extremos acima de 32°C são limitantes ao florescimento (BERDING, 1995).

A cana-de-açúcar é cultivada em todas as regiões tropicais e subtropicais do mundo, em ambos os lados do equador e até, aproximadamente 35°N e 35°S (MUKHERJEE, 1957; VAN DILLEWIJN, 1952). O clima ideal um ciclo com duas estações distintas: uma estação quente e úmida (verão na América latina), importante para germinação, perfilhamento e desenvolvimento vegetativo; e uma seca e fria (inverno) para que ocorra maturação e acúmulo de sacarose nos colmos (MACHADO, 2008). A temperatura também influencia o desenvolvimento ótimo da cana-de-açúcar, obtido quando a temperatura média diária do ar está entre 22°C e 30°C (DOORENBOS; KASSAM, 1994). A temperatura ótima para brotação e emergência da cana-de-açúcar é de 32°C a 38°C (DOORENBOS; KASSAM, 1994).

Plantios de cana-de-açúcar em abril, maio e junho resultam em maior número de dias com temperaturas do solo e do ar desfavoráveis para o bom desenvolvimento da cultura e maior risco de geadas, que refletem diretamente no acúmulo de biomassa e açúcares da cana-de-açúcar (FIETZ et al., 2015).

O fato de a cultura da cana permanecer por longos períodos no campo e a reforma do canavial ser feito de 6 a 9 anos, faz com que seja difícil de reverter danos causados por intemperes climáticos, haja vista que a variedade que se encontra não é adaptada, assim demonstrando que a safra 21/22 teve reduções de produtividade de 5,45% e a expectativa da safra de 22/23 de ser superior chegando a 72.357 kg ha⁻¹ (CONAB, 2022).

Entende-se por “ambiente de produção” a junção de uma ou mais unidades de mapeamento de solo (ex: Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho-Escuro, Terra Roxa Estruturada, Podzólico Vermelho Escuro, todos eutróficos) e variedade de cana, num dado estágio de desenvolvimento, sob um determinado regime hídrico (precipitação, distribuição de chuvas, déficit hídrico e outros), cujas capacidades de produção sejam semelhantes. Portanto, o “ambiente de produção” nada mais é do que a interação entre planta, solo e clima, associada ao manejo agrícola, cujos resultados são utilizados para as indicações mais favoráveis dos clones e/ou variedades (DEMATTE, 2004). Considerando isso, BERTOLANI et al. (2015) definiram cinco ambientes representados pelas letras A, B, C, D e E, sendo a classe A (ambiente A) composto solos que tem melhor potencial para desenvolvimento da cana-de-açúcar e os de classe E (ambiente E) como de menor potencial (Figura 2).

Assim, ao submeter um solo a um dado nível de manejo, sua capacidade produtiva pode ser alterada para mais ou para menos, dependendo da intensidade da aplicação desses processos. Com isso, o potencial de um solo, sob um determinado nível de manejo, pode ser deslocado para cima ou para baixo, enquanto permanecerem as condições de manejo.

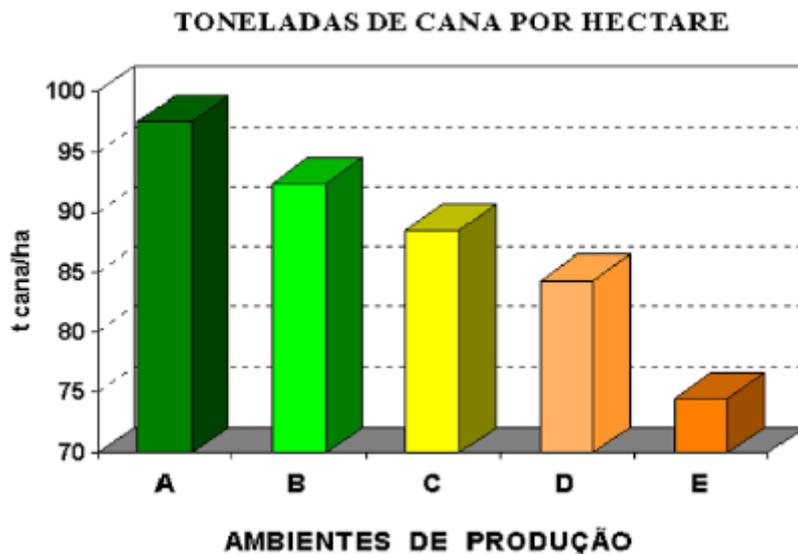


Figura 2- Descrição dos ambientes produtivos segundo BERTOLANI et al. (2015).

A cana é cultivada, principalmente, como matéria prima para produção de açúcar e álcool. Portanto, a espécie apresenta grande importância no mundo e, especialmente, para o Brasil, que se apresenta como maior produtor mundial de cana-de-açúcar e açúcar, segundo maior produtor de etanol e o maior exportador do mundo (NACHILUK, 2020). Além da produção de etanol e açúcar, as unidades de produção têm buscado aumentar sua eficiência na geração de energia elétrica, auxiliando no aumento da oferta e redução dos custos e contribuindo para ampliar a sustentabilidade do setor (NASCIMENTO et al., 2020). Com exceção do açúcar, os produtos derivados da cana incluem melão, rum, cachaça, bagaço e etanol (MOORE et al., 2017).

2.4 Produção e Produtividade de Cana-de-Açúcar no Brasil

Segundo os dados do primeiro levantamento para a safra 22/23, o Brasil deve produzir 596,1 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, um aumento de 1,9% em relação à safra anterior que foi de 592,0 milhões de toneladas, apesar da redução na área colhida de 1,3%, devido à forte concorrência com outras culturas, no Centro Oeste deve produzir 127,16 milhões de

toneladas de cana-de-açúcar. Na safra 2022, deverão ser produzidos 40,3 milhões de toneladas de açúcar, incremento de 14,9% em comparação com o ciclo anterior conforme comunicado da Conab, a redução é explicada, principalmente, pelas condições climáticas adversas registradas da estiagem durante o ciclo produtivo das lavouras e pelas baixas temperaturas registradas em junho e julho de 2021 que provocaram impacto na produtividade de importantes regiões produtoras. A produção total de etanol, proveniente da cana-de-açúcar, será de 24,8 milhões de litros, com redução de 7,9% em relação à safra passada. (CONAB, 2022).

Estimativas feitas em abril de 2022 apontam que a produtividade média nacional será de 72.357 kg ha⁻¹. Na Região Centro-Oeste, a expectativa é de redução na área em produção, saindo de 1.806,7 mil hectares em 2021/22 para 1.787,2 mil hectares nesta temporada, representando diminuição de 1,1% (CONAB, 2022). Nessa região, a estimativa de produtividade é 75,834 kg ha⁻¹ e para o Mato Grosso do Sul de 71.068 kg ha⁻¹ demonstrando um aumento de 4,3% em relação à safra anterior (CONAB, 2022).

O estado do Mato Grosso do Sul possui um total de 23 usinas em funcionamento, sendo considerado o terceiro maior produtor de etanol do Brasil. A produtividade média nacional de Açúcar Total Recuperável (ATR) saiu da safra 21/22 de 141,6 kg t⁻¹ para a 142,5 kg t⁻¹ na safra de 22/23. O estado do Mato Grosso do Sul estima ter um aumento de 131,5 para 132,5,6 kg t⁻¹ na safra 22/23 (CONAB, 2022).

A expectativa é de que as áreas de reforma dos canaviais se mantenham dentro do planejado, com boas precipitações. Com isso, as perspectivas são otimistas, se comparadas com a safra passada, que passou por problemas como seca e estiagem.

2.5 Melhoria de Cana-de-Açúcar

O melhoramento genético de plantas é como um processo industrial em que as matérias-primas (germoplasma) são inseridas em um sistema de fabricação (desenvolvimento de linhagem, híbrido ou clone) para que produtos (cultivares) sejam comercializados e distribuídos após rigorosos testes e controle de qualidade (ensaios multi-ambientais) (BERNARDO, 2020). Nesse contexto, o melhoramento genético visa aumentar a frequência de alelos e/ou obter combinações genótípicas favoráveis (SILVA et al., 2014) a fim atender às necessidades direta, ou indireta, do produtor, do consumidor e da indústria.

Os primeiros trabalhos relacionados ao melhoramento genético da cultura de cana-de-açúcar foram desenvolvidos por Soltwedel, em Java - Indonésia. Em 1885, o pesquisador obteve

êxito na germinação de sementes de *S. spontaneum*. Posteriormente, em 1887, Soltwedel realizou cruzamentos entre *S. spontaneum* e *S. officinarum* (GRIVET et al., 2001; DEER, 1921; STEVENSON, 1965 citado por MATSUOKA et al., 2005). No Brasil, os órgãos que se destacam e conduzem os projetos do melhoramento de cana em conjunto com empresas e universidades são a RIDESA (Rede Interuniversitária de Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleira), CTC (Centro de Tecnologia Canavieira) e IAC (Instituto Agrônomo de Campinas).

Nos últimos 50 anos, a cultura teve um crescimento de aproximadamente 40% na sua produtividade, o que comprova que a execução dos programas de melhoramento genético e a busca pelo manejo correto dessas variedades tem sido feita com sucesso (MORAIS et al., 2015).

O melhoramento de cana-de-açúcar tem como base a seleção e clonagem de genótipos superiores de populações segregantes obtidas por meio de cruzamentos entre indivíduos contrastantes. Um dos principais objetivos do programa de melhoramento é produção de variedades que se adaptam em diferentes regiões e, com isso, são necessárias várias etapas de experimento, que auxiliam na identificação dos processos de adaptabilidade e estabilidade da cana por meio da interação genótipo, fenótipo e ambiente, fazendo com que os melhores clones sejam indicados (OLIVEIRA, 2004).

Muitas das características quantitativas, que constituem um dos principais objetivos do melhoramento são complexas com variação em dezenas ou centenas de genes (CROSBIE et al., 2006). De forma geral, os geneticistas têm se dedicado ao estudo de caracteres quantitativos de grande importância (HOGARTH, 1987). Segundo MORAIS et al., (2015), dentre os principais caracteres quantitativos em cana-de-açúcar, pode-se citar a produtividade (TCH). Este caractere, controlados por muitos genes, sofrem forte influência ambiental e, normalmente, apresenta média a baixa herdabilidade. Portanto, o entendimento da teoria de genética quantitativa e a análise de dados experimentais fornece as bases para o desenvolvimento de estratégias de seleção para características como o TCH (SKINNER et al., 1987). Além dessa, outras características quantitativas são consideradas nos programas de melhoramento, como por exemplo, teor de sacarose e sólidos solúveis (°Brix), número de colmos e outros (WELHAM et al., 2010).

O programa de melhoramento genético de cana-de-açúcar é dividido em várias etapas. Inicialmente, é necessário estabelecer um banco de germoplasma em uma região que favoreça o florescimento sincronizado dos acessos. O florescimento é desencadeado após o solstício de verão, o qual apresenta fotoperíodo entre 12h e 12,5h e noites com temperaturas acima de 18°C,

sendo que para a planta florescer, é necessário no mínimo 10 dias nestas condições (MARIN, 2014), além de umidade relativa e precipitação elevadas, solos pobres e latitude entre 10°N e 10°S (LEVIS, 1983 e 1992). No Brasil, os bancos de germoplasma estão localizados na região nordeste.

Os acessos dos bancos de germoplasma são avaliados e, parte deles, selecionados como genitores de diversos cruzamentos. Os cruzamentos pode ser biparentais ou multiparentais. As sementes obtidas dos cruzamentos pré-estabelecidos darão origem a plântulas (*seedlings*), que uma vez, serão transplantadas para o campo, definido a primeira fase de seleção (T1) do programa de melhoramento (RIDESA, 2012). Essa fase é caracterizada por ensaios sem repetição, devido ao pouco material propagativo disponível. À medida que o programa de melhoramento avança, ocorre aumento do material propagativo e, conseqüentemente, melhora da precisão experimental, possibilitando maior precisão ao se identificar genótipos superiores (SOUZA Jr., 1995; CALIJA, 2001). Os genótipos do T1 serão avaliados e selecionados por meio de seleção massal, empregada preferencialmente em progênies que apresentam médias fenotípicas superiores e valores elevados em relação aos coeficientes de herdabilidade das características em estudo (KIMBENG; COX 2003). Em média, uma variedade comercial pode ser obtida a cada 250.000 *seedlings* avaliados na fase T1 (CHEAVEGATTI-GIANOTTO et al., 2011).

A próxima fase do programa de melhoramento de cana-de-açúcar é denominada T2. Os clones que compõe o T2 serão avaliados tanto em cana planta quanto em cana-soca quanto à diferentes características, como por exemplo: vigor, sanidade, teor de sólidos solúveis, teor de sacarose, altura da planta, diâmetro do colmo, número de colmos, peso médio de colmos, produção estimada de colmos, tonelada de colmos por hectare, tonelada de sólidos solúveis por hectare, teores de fibra. Na terceira fase, denominada T3, o número de clones sob avaliação é menor e permite que sejam realizados experimentos em mais de um local. Assim, busca-se minimizar o efeito do ambiente na seleção. São feitas as mesmas avaliações descritas em T2. Por fim, a última etapa consiste na fase experimental (FE). Nesta etapa o número de genótipos diminui de modo a possibilitar, ao longo das fases de seleção, aumento nos locais de avaliação, no número de repetições por experimento e no tamanho das parcelas. Assim, é possível obter elevada precisão experimental (FUSCALDI, 2014). Além das avaliações descritas anteriormente, é feita a curva de maturação separadamente para cada nova variedade possível (FUSCALDI, 2014).

O programa de desenvolvimento de novos cultivares de cana-de-açúcar é de longa duração (Figura 3). Normalmente, o lançamento de novos cultivares tem ocorrido após cerca de 13 anos de inúmeras avaliações dos clones por meio de experimentos observando-se a reação dos clones às doenças e pragas e a produtividade dos mesmos em diferentes ambientes de produção (BARBOSA et al., 2005). Destaca-se a importância de realizar diversos ensaios em campo com clones promissores, a fim de identificar a interação dos genótipos com os ambientes ($G \times A$) e efetuar análises de adaptabilidade e estabilidade fenotípica, permitindo recomendar genótipos com maior previsibilidade de produção (VENCOVSKY, 1986).

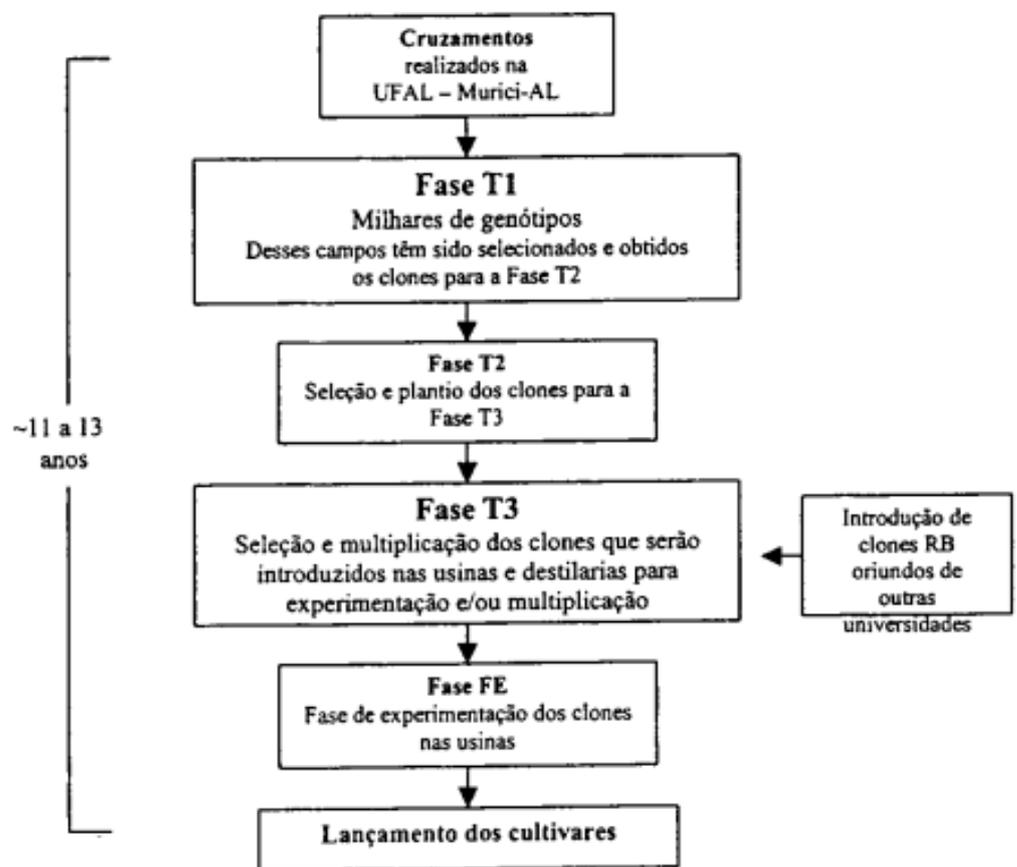


Figura 3- Fluxograma das fases do programa de melhoramento genético de cana-de-açúcar realizado pelas universidades que integram a RIDESA. Fonte: Barbosa et al., 2005.

2.5.1 Interação Genótipos por Ambientes

A interação genótipos por ambientes ($G \times A$) é observada quando ocorre alteração no desempenho dos genótipos devido as variações nos ambientes. A interação $G \times A$ é considerada

um dos maiores desafios para os melhoristas. Ela possui influência no ganho por seleção e causa dificuldade nas recomendações de novas cultivares (CRUZ; REGAZZI, 1997; HILL, 1975). Como resultado da interação GxA pode ocorrer que os melhores genótipos sejam viáveis em apenas um local, em alguns casos, quando se tem interações positivas que estejam associadas às características previsíveis de dado ambiente, ou seja, o genótipo corresponde bem as expectativas e então pode-se tirar vantagem dessa interação (DUARTE; VENKOVSKY, 1999).

De acordo com a importância da interação GxA, o melhorista deve avaliar a significância, quantificar seus efeitos sobre a técnica de melhoramento utilizada para fornecer alternativas que possam ser aplicadas para seu aproveitamento ou minimização (CRUZ; REGAZZI, 1997). Para Silva e Duarte (2006), é necessário conduzir os experimentos no maior número de locais e anos possíveis, para diminuir o efeito da interação.

Nos programas de melhoramento genético, quando se quer selecionar genótipos para diferentes ambientes, é recomendado que ocorra interação GxA de baixa magnitude ou então com efeito não significativo. Entretanto, quando o objetivo é que os genótipos sejam adaptados a ambientes específicos, é interessante altas interações GxA (KVITSCHAL, 2003). Como as condições ambientais são muito instáveis, é necessária muita cautela para recomendar genótipos com comportamento superior em um ambiente específico, mas inferiores de forma extrema em outros (BORÉM, 1997).

As interações podem ser classificadas como interação simples, onde não há interferência nos programas de melhoramento e na recomendação das cultivares, pois são consideradas como ambientes iguais. A interação complexa, que tem interferência nos programas e as cultivares são específicas para uma determinada região.

2.5.2 Adaptabilidade e Estabilidade

Dentre os aspectos analisados durante todo o processo de melhoramento genético da cana-de-açúcar um deles é a adaptabilidade e estabilidade das cultivares. Segundo Mariotti et al. (1976) a adaptabilidade é considerada como uma forma em que os genótipos tiram grande vantagem dos estímulos do ambiente e a estabilidade a maneira como esses genótipos expressam um comportamento previsível, de acordo com esses estímulos.

Outro conceito muito utilizado também é adaptabilidade como a capacidade que os genótipos possuem para apresentar rendimentos elevados e constantes em ambientes

desfavoráveis, mas com capacidade de responder as melhorias dessas condições e estabilidade a forma como é possível ter uma previsão dessas melhorias (VERMA et al., 1978).

Para avaliar e realizar as estimativas sobre adaptabilidade e estabilidade vários métodos foram propostos por diferentes autores. Os métodos variam quanto aos princípios estatísticos, aos procedimentos biométricos e a forma como os resultados são interpretados (EEUWIJK et al., 2016). A diversidade de metodologias propostas demonstra que as informações obtidas são úteis, entretanto, ainda insuficientes para estudar um assunto complexo como a adaptabilidade e estabilidade.

Uma alternativa seria a avaliação da adaptabilidade e estabilidade por meio de diferentes métodos e a comparação dos resultados. Essa estratégia tem sido utilizada por muitos autores, em diversas culturas, incluindo a cana-de-açúcar (ROSSE et al., 2002; FERNANDES JUNIOR et al., 2013). Entretanto, o estudo de cada método em separado pode ser menos informativo que o estudo por meio de multi-informação genética, que permite uma descrição ampla dos comportamentos dos cultivares. Nesses estudos podem ser avaliados múltiplos métodos de forma simultânea permitindo ter mais segurança na recomendação das cultivares (PONTES, 2020).

A análise multi-informação pode utilizar vários parâmetros, dentre eles a média geral, o potencial médio em diferentes condições ambientais (PM), a plasticidade, a medida da contribuição relativa para a interação, o índice de recomendação de Annicchiarico, a adaptabilidade percentual, a estabilidade percentual, o padrão J de resposta do genótipo (PJR), o padrão campeão e o índice de recomendação centroide (PONTES, 2020).

O Potencial Médio em Diferentes Condições Ambientais é expresso pela capacidade produtiva em condições ambientais geral, favorável e desfavorável. A Plasticidade fenotípica pode ser definida como a habilidade de um genótipo modificar sua fisiologia e/ou morfologia em função das condições ambientais (WHTIMAN; ANANTHAKRISHNAN, 2009; BRADSHAW, 1965). O método proposto por Cruz et al. (2012) permite obter a plasticidade dos genótipos a parti da análise conjunta dos experimentos e do desdobramento da soma dos quadrados dos efeitos dos ambientes e da interação genótipos por ambientes em efeito de ambiente dentro de cada genótipo. Assim, genótipos que apresentarem menor quadrado médio da interação genótipos por ambientes serão considerados de menor plasticidade, ou seja, apresentam uma mínima variância entre os ambientes.

A medida da Contribuição Relativa para a interação indica quanto de um determinado genótipo contribuiu para a interação genótipos por ambientes. Ela pode ser obtida pelo método

denominado de Ecovalência (ω_i), proposto por Wricke em 1965, que utiliza a a partição da soma de quadrados da interação GxA. Os genótipos que apresentarem as menores estimativas de ω_i são considerados como os que menos contribuíram para a interação e, portanto, apresentam comportamento semelhante ao genótipo de comportamento médio. A contribuição relativa do genótipo também pode ser obtida pelo método de Plaisted e Peterson (1959) que utiliza a média aritmética dos componentes da variância da interação entre os pares de genótipo nos diferentes ambientes. O genótipo que apresentar menor componente de interação (θ_i) é considerado como o que menos contribui para a interação G x A.

O método proposto por Annicchiarico (1992) é também conhecido como Índice de Confiança. Esse método tem como base a análise de variância conjunta dos experimentos e o desdobramento da soma de quadrados dos ambientes e da interação GxA (CRUZ; REGGAZZI, 2001). O nível de confiança do método é de 70% a 95%, sendo que quanto maior esse índice de confiança do genótipo menor será a probabilidade de insucesso.

A Adaptabilidade Percentual estima a capacidade de resposta de um genótipo às melhorias no ambiente. As estimativas de parâmetros de adaptabilidade percentual são proporcionadas pelos coeficientes de regressão de cada genótipo em relação ao índice ambiental (β_{1i}) obtidas por meio do modelo proposto por Finlay e Wilkinson (1963) ou Eberhart e Russell (1966). Os genótipos podem ser classificados como de geral ou ampla adaptabilidade quando o β_{1i} for estatisticamente igual a 1; de adaptabilidade específica a ambientes favoráveis se β_{1i} for estatisticamente maior que 1 e adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis se β_{1i} for menor que 1.

A Estabilidade Percentual ou Previsibilidade é uma medida de previsibilidade de comportamento do genótipo frente às variações ambientais de acordo com o modelo regressão linear descrito por Eberhart e Russell (1966). O parâmetro de estabilidade é informado pelo componente de variância atribuído aos desvios da regressão (σ_{di}^2). Esse é estimado pelo método da análise de variância, a partir do quadrado médio do desvio da regressão de cada genótipo e do quadrado médio do resíduo. A resposta diferencial dos genótipos frente às variações ambientais pode ser classificada em dois tipos: previsível e imprevisível. A primeira inclui todos os fatores permanentes do ambiente, como características gerais do clima e do tipo de solo e, também, as características do ambiente que variam de forma sistemática. Inclui ainda os aspectos do ambiente que são determinados pelo homem, como data de plantio, método de preparo do solo e colheita. A segunda inclui as flutuações variáveis do ambiente, como a distribuição de chuvas e variações na temperatura (ALLARD; BRADSHAW, 1964). Para que

um genótipo seja considerado ideal, ele precisa apresentar uma média elevada e um coeficiente de regressão igual ou próximo de 1, o que indica um genótipo com uma alta previsibilidade de comportamento de acordo com os estímulos ambientais.

A previsibilidade também pode ser estimada por meio do coeficiente de determinação modelo (R^2) que indica a proporção da variação total explicada pelo comportamento linear do genótipo, dando seu valor em percentual.

O Padrão J de resposta expressa a capacidade do genótipo em manter uma boa produtividade em condições desfavoráveis e de ser responsivo em condições favoráveis. O padrão J pode ser estimado utilizando os modelos de regressão bi-segmentadas propostos por Cruz, Torres e Vencovsky (1989), o qual possibilita a obtenção de 3 parâmetros: a) Adaptabilidade referente à resposta linear aos ambientes desfavoráveis (β_{1i}), b) Adaptabilidade referente à resposta linear aos ambientes favoráveis ($\beta_{1i} + \beta_{2i}$) e c) Estabilidade (previsibilidade) que é avaliada pelo desvio da regressão $\sigma_{\delta_i}^2$ de cada genótipo, em função das variações ambientais. A forma de interpretação desses parâmetros é realizada de forma semelhante à adaptabilidade percentual e estabilidade percentual.

O Padrão Campeão pode ser obtido pela metodologia de Linn e Binns (1988) que considera o quadrado médio da distância entre a média do genótipo e a resposta média máxima para todos os ambientes. É uma análise não-paramétrica que permite identificar os genótipos mais estáveis em um único parâmetro de adaptabilidade e estabilidade e possibilita as informações para ambientes favoráveis e desfavoráveis. A classificação dos ambientes em favoráveis e desfavoráveis é feita por meio dos índices ambientais, sendo a diferença da média dos genótipos avaliados em cada ambiente e a média geral (CRUZ e CARNEIRO, 2006).

O Índice Recomendação Centróide possibilita classificar os genótipos de acordo com sua média em ambiente favorável e desfavorável. A classificação é realizada utilizando o Índice ambiental (Ij) proposto por Finlay e Wilkins (1963), sendo que índices negativos indicam ambientes desfavoráveis e índices positivos indicam ambientes favoráveis. A partir da obtenção dos índices são criados pontos de referência representativos dos ideótipos (centroides). Os ideótipos são representados por 4 e 7 pontos estabelecidos por meio da análise de componentes principais (PELÚZIO et al., 2010; PONTES, 2020). Os genótipos por ser classificados em:

Classe I: Adaptabilidade geral alta (máxima produção em ambientes favoráveis e desfavoráveis);

Classe II: Adaptabilidade específica a ambientes favoráveis (máxima produção em ambientes favoráveis e mínima em desfavoráveis);

Classe III: Adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis (mínima produção em ambientes favoráveis e máxima em desfavoráveis);

Classe IV: Pouco adaptado (mínima produção em ambientes favoráveis e desfavoráveis);

Classe V: Média adaptabilidade geral (média produção em ambientes favoráveis e desfavoráveis);

Classe VI: Média adaptabilidade específica a ambientes favoráveis (máxima produção em ambientes favoráveis e média em desfavoráveis);

Classe VII: Média adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis (média produção em ambientes favoráveis e máxima em desfavoráveis).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Obtenção dos Dados e Detalhes Experimentais

Para este trabalho, foram utilizados os dados da fase experimental (FE) do Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-Açúcar cedidos pela RIDESA/UFSCar. Os dados foram obtidos em experimentos instalados em quatro ambientes no estado de Mato Grosso do Sul (Figura 4, Tabela 1). Os dados climáticos referentes a cada ambiente podem ser visualizados na Figura 5.



Figura 4 - Distribuição dos quatro campos experimentais localizados nos municípios de Ivinhema, Nova Andradina e Rio Brillhante, no Estado de Mato Grosso do Sul.

Como material genético foram utilizados os seis clones (G1, G2, G3, G4, G5 e G6) e as testemunhas comerciais RB855156 (G7) e RB966928 (G8). Os clones RB são provenientes de hibridação ocorrida no ano de 2006 e são considerados precoces.

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, com três repetições. As parcelas foram compostas por 4 sulcos de 8 metros em Ivinhema – MS, 4 sulcos de 15 metros em Rio Brillhante – MS e 5 sulcos de 10 metros em Nova Andradina – MS. O espaçamento foi de 1,5 m entre plantas, totalizando 25 plantas por parcela. Em Rio Brillhante o ensaio foi plantado no dia 15 de abril de 2016 e colhido o terceiro corte no dia 08 de agosto de 2019, em Ivinhema o plantio ocorreu no dia 01 de julho de 2016 e colhido o terceiro corte em 05 de junho

de 2019, em Nova Andradina, Fazenda “E”. foi plantado em 15 de junho de 2015 e colhido o terceiro corte dia 03 de maio de 2018 e na fazenda “N.O.” plantado dia 15 junho de 2015 e colhido o terceiro corte em 24 de maio de 2018 para o plantio, utilizou-se sulcos com 20 cm de profundidade.

Tabela 1: Descrição dos quatro ambientes onde foram instaladas a fase experimental (FE) do Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-Açúcar da RIDESA/UFSCar.

Ambiente	Município	Altitude (m)	Latitude	Longitude	Ambiente *	Clima *
1	Ivinhema, MS	350	22° 29' 13"	53° 59' 13"	E	Am
2	Rio Brillhante, MS	337	21° 30' 53"	54° 43' 80"	A	Af
3	Nova Andradina, MS - “N.O.”	374	22° 11' 72"	53° 23' 70"	D	Am
4	Nova Andradina, MS - “E”	433	22° 06' 72"	53° 23' 59"	B	Am

* O ambiente e o clima foram classificados de acordo com BERTOLANI et al. (2015) e FIETZ; FISCH (2008) - Am (Clima tropical úmido ou subúmido), Af (Clima tropical úmido ou superúmido, sem estação seca, sendo a temperatura média do mês mais quente superior a 18°C).

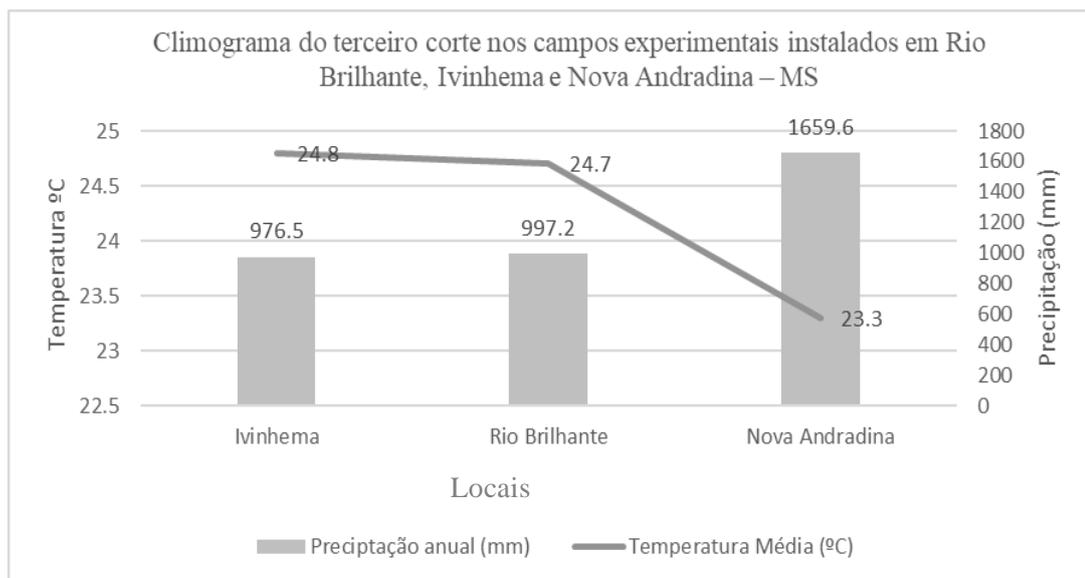


Figura 5 - Temperatura média (°C) e pluviosidade (mm) coletados no período terceiro corte, referente aos anos de 2018 e 2019, nos campos experimentais instalados em Rio Brillhante, Ivinhema e Nova Andradina – MS. Fonte: Instituto Nacional de meteorologia (INMET).

No terceiro corte avaliou-se a característica tonelada de colmos por hectare (TCH) por meio da massa de 30 canas, obtidas a partir do corte de três feixes com 10 canas e pesando os feixes individualmente com uma balança de mão. Posteriormente, foi obtido a tonelada de colmos para um hectare. Par isto utilizou-se a fórmula descrita por Zambon e Daros (2005).

$$TCH = (P10C/10) \times (NCP/10) \times (10000) / (E) / (1000)$$

Em que:

P10C: massa de 10 colmos (kg);

NCP: número de colmos na parcela;

E: espaçamento entre linhas.

Após a obtenção dos dados, procederam-se as análises genético-estatísticas. Inicialmente, foi realizada a análise conjunta dos dados visando detectar a interação significativa entre os genótipos e os ambientes. A homogeneidade entre as variâncias residuais foi averiguada pela razão entre o maior e menor quadrado médio do resíduo. No presente trabalho constatou-se que a razão entre o maior e o menor quadrado médio residual foi inferior à sete. Estimativas menores que sete indicaram homogeneidade dos erros (PIMENTEL-GOMES e GARCIA, 2002).

O modelo estatístico utilizado pode ser observado abaixo.

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + B_k + A_j + GA_{ij} + E_{ijk}$$

Em que:

Y_{ijk} : valor fenotípico no k-ésimo bloco, avaliada no i-ésimo genótipo e j-ésimo ambiente

μ : efeito fixo da média geral;

G_i : efeito aleatório do genótipo i;

B_k : efeito fixo do bloco k;

A_j : efeito fixo do ambiente j;

GA_{ij} : efeito da interação entre o genótipo i e o ambiente j;

E_{ijk} : efeito aleatório do erro experimental associado a parcela do bloco k que recebeu o genótipo j na condição i. $e_{ijk} \sim NID(0, \hat{\sigma}^2)$.

De forma complementar a análise de variância as médias de TCH dos oito genótipos de cana-de-açúcar foram agrupadas pelo método de Scott e Knott (1974) a 5% e 1% de probabilidade.

Para avaliação da adaptabilidade e estabilidade dos genótipos, foi utilizado o critério multi-informação a partir da avaliação de nove parâmetros, sendo eles: potencial médio em diferentes condições ambientais, plasticidade, medida da contribuição relativa para a interação G x A, índice de recomendação Annicchiarico, adaptabilidade percentual, estabilidade percentual, padrão J de resposta do genótipo (PJR), padrão campeão e índice de recomendação centroide conforme Pontes (2020).

Todas as análises genético-estatísticas foram realizadas no software Genes (CRUZ, 2016)

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

A partir do resultado da análise de variância conjunta verificou-se que para a característica TCH houve diferença significativa a 1% de probabilidade ($P \leq 0,01$) pelo teste de F para a interação genótipos por ambientes (Tabela 2). Esse resultado indica que os oito genótipos de cana-de-açúcar avaliados apresentaram comportamento diferenciado conforme as mudanças proporcionadas pelos ambientes. Portanto, um estudo mais detalhado dessa interação se faz necessário, de modo que ela não interfira negativamente na recomendação dos melhores genótipos. A relação da homogeneidade do quadrado médio do resíduo maior dividido pelo quadrado médio do resíduo menor foi equivalente a menor que 7, nos possibilitando seguir com a análise de adaptabilidade e estabilidade.

Tabela 2 - Resumo da análise de variância conjunta e média geral de toneladas de cana por hectares (TCH) de oito genótipos de cana-de-açúcar, obtido no terceiro corte, nas fases de experimentação (FE), conduzido em quatro locais na safra 2018/19.

Fonte de Variação	GL	QM
Bloco	02	25,84
Genótipo (G)	07	1653,39**
Ambiente (A)	03	17796,95**
Interação G x A	21	323,88**
Resíduo	62	
Média (t ha ⁻¹)	62,49	
CV(%)	20,93	

** significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F.

A média geral do experimento para a característica TCH foi de 62,49 t ha⁻¹ (Tabela 2), valor considerado baixo, tendo em vista a média nacional para a atual safra é de 72,35 kg há⁻¹ (CONAB, 2022). Cabe apontar, que a média geral do experimento foi reduzida pelas médias de TCH observadas nos oito clones quando avaliados nos ambientes 2 e 4. Esse resultado pode ser verificado na Tabela 3, onde os ambientes 2 e 4 apresentaram valores negativos de índice ambiental (Ij), indicando que são ambientes desfavoráveis. Isto pode ter ocorrido em função de condições edafoclimáticas adversas, manejo inadequado do solo, presença de pragas e doenças, baixa emprego de tecnologia de produção, quantidade e qualidade de insumos e/ou equipamentos agrícolas insuficientes

Tabela 3 - Média ambiental e índice ambiental (Ij) de quatro locais utilizados na fase de experimentação (FE) para avaliar oito genótipos de cana-de-açúcar quanto à toneladas de cana por hectares (TCH) na safra 2018/19.

Ambientes	Média (t ha ⁻¹)	Índice Ambiental (Ij)
1 - Ivinhema, MS	92,21	32,72
2 - Rio Brillhante, MS	30,12	-32,37
3 - Nova Andradina, MS	69,49	7,00
4 - Nova Andradina, MS	55,15	-7,34

No caso deste experimento, possivelmente a média de TCH foi reduzida em função da má distribuição de precipitação pluviométrica no ambiente 2 e da presença de cigarrinha no ambiente 4. A grande incidência de cigarrinha das raízes (*Mahanarva fimbriolata*) foi causada pelas condições ambientais favoráveis ao inseto e pela dificuldade de controle desta praga, controle. Segundo Dinardo-Miranda (2003) o dano decorrente do ataque da cigarrinha-das-raízes ocorre devido às injúrias causadas pelas ninfas, que sugam as radículas, retirando nutrientes dos vasos, provocando desnutrição e desidratação da planta. Os adultos causam danos ao sugarem a seiva das folhas, injetando saliva que é tóxica para as plantas, causando clorose no tecido foliar. Com o amarelecimento e seca das folhas, a fotossíntese é significativamente afetada, resultando em diminuição do crescimento, desidratação e seca dos colmos, reduzindo significativamente a produtividade. Concomitantemente, estas alterações fisiológicas resultam na redução da porcentagem de caldo, grau brix, pol e pureza, com acréscimo do teor de fibra da cana comprometendo a valorização e qualidade da matéria-prima. Ao serem colhidos, esses colmos danificados junto com os sadios, causam redução significativa na qualidade da matéria-prima extraída.

Já os ambientes 1 e 3 apresentaram as maiores médias de TCH, com destaque para o ambiente 1, que produziu 92,21 t ha⁻¹ (Tabela 3). Os ambientes 1 e 3 foram classificados como favoráveis apresentando Ij positivo. Valores positivos de Ij estão possivelmente associados a condições edafoclimáticas aptas à cultura e à utilização de alta tecnologia de produção agrícola, com adequado manejo de pragas e doenças.

Com relação às médias gerais de cada um dos oito genótipos avaliados nos quatro ambientes, pode-se verificar que G6 e G8 apresentaram as maiores estimativas médias de TCH,

respectivamente 92,21 kg ha⁻¹ e 69,49 kg ha⁻¹ (Figura 5). Os demais genótipos foram agrupados no grupo b, sendo inferiores aos genótipos G6 e G8 alocados no grupo a.

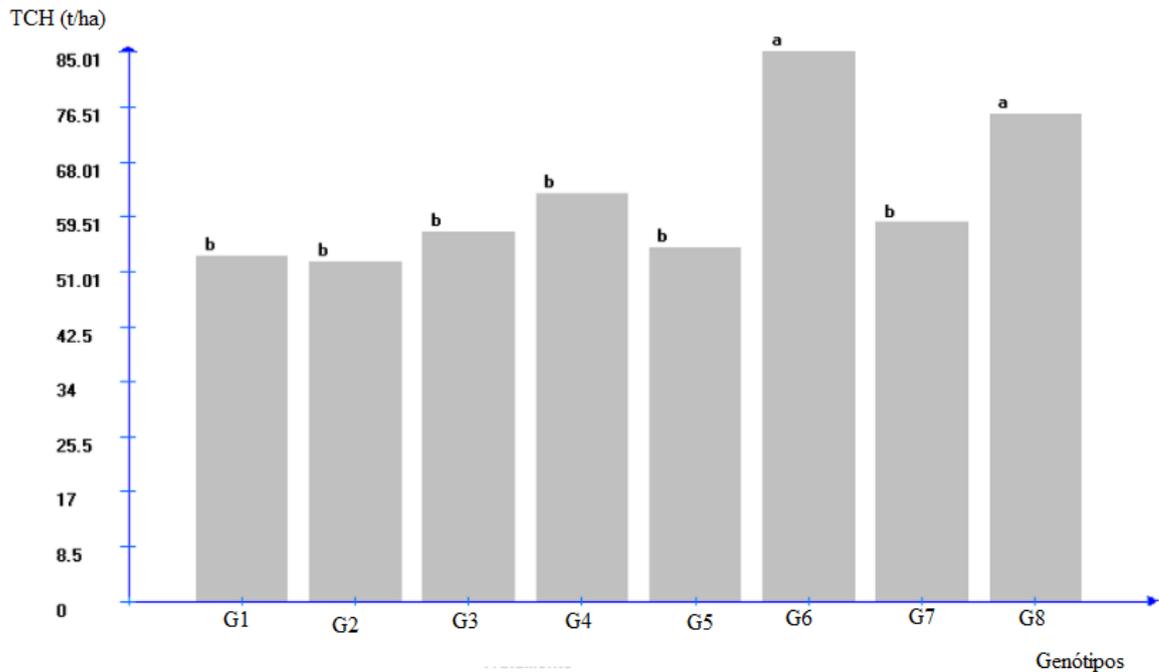


Figura 6 - Média de tonelada de colmo por hectares (TCH) obtidas em oito genótipos de cana-de-açúcar avaliados em quatro ambientes no Mato Grosso do Sul, safra 2018/19, agrupadas de acordo com o teste de Scott e Knott (1974). Valores seguidos da mesma letra pertence a um mesmo grupo.

Após a identificação da presença de interação GxA nos ensaios em avaliação, da classificação dos ambientes em favoráveis e desfavoráveis e da obtenção das médias gerais dos oito genótipos de cana-de-açúcar optou-se por realizar uma multi-informação genética com base em dez parâmetros para verificar adaptabilidade e estabilidade dos oito genótipos de cana-de-açúcar quanto à produtividade de cana por hectare (TCH). Uma ficha com as informações referentes a cada genótipo pode ser observada na Tabela 4.

Tabela 4 - Ficha de recomendação genotípica fundamentada em análise multi-informação de oito genótipos de cana-de-açúcar em relação à característica tonelada de cana hectare (TCH) avaliada em quatro ambientes do Mato Grosso do Sul.

Parâmetro		Genótipo 1		Genótipo 2		Genótipo 3		Genótipo 4		Referências		
		Valor	Rank	Valor	Rank	Valor	Rank	Valor	Rank	Min	Max	Média
Potencial médio	Ambiente geral	53,38	7	52,48	8	57,14	5	63,15	3	52,48	85,01	62,48
	Ambiente favorável	70,19	7	66,27	8	84,57	4	87,4	3	66,27	105,93	82,34
	Ambiente desfavorável	36,57	7	38,69	4	29,7	8	38,91	3	29,70	64,10	42,63
Plasticidade		1289,95	3	1098,2	1	4046,49	8	3980,36	7	1098,2	4046,49	-
Contribuição para a interação (Wi%)		21,04	8	16,45	7	12,23	3	16,38	6	0,48	21,04	-
Índice de	Ambiente geral (%)	70,43	5	60,11	7	47,61	8	77,3	3	47,61	117,88	-
Recomendação	Ambiente favorável (%)	78,26	3	53,88	6	27,53	8	77,81	4	27,59	129,34	-
Annicchiarico	Ambiente desfavorável (%)	59,59	8	74,63	6	96,7	3	78,57	5	59,59	124,25	-
Adaptabilidade	$\beta_1^{1/}$	0,68*	-	0,66*	-	1,34*	-	1,31 ^{ns}	-	0,66	1,34	-
Estabilidade (%)	$S_d^{2/}$	11,69 ^{ns}	-	35,19 ^{ns}	-	100,00 ^{ns}	-	26,47 ^{ns}	-	11,69	100,00	-
	R ² (%)	80,32	-	88,96	-	99,81	-	96,10	-	80,32	99,94	-
Padrão J de resposta	Adaptabilidade $\beta_1^{1/}$	0,82 ^{ns}	-	0,60*	-	1,37*	-	1,20 ^{ns}	-	0,60	1,37	-
		0,11 ^{**}	-	0,99 ^{ns}	-	1,21 ^{ns}	-	1,93*	-	-0,11	1,93	-
	Adaptabilidade $\beta_1 + \beta_2^{1/}$	99,58 ^{ns}	-	92,69 ^{ns}	-	99,97 ^{ns}	-	99,92 ^{ns}	-	91,59	99,99	-
	Estabilidade % $S_d^{2/}$											
Padrão campeão	Ambiente geral	608,8	7	624,43	8	443,28	5	296,66	3	1,71	624,43	-
	Ambiente favorável	765,01	7	787,55	8	228,75	4	226,64	3	0	787,55	-
	Ambiente desfavorável	452,59	5	461,31	6	657,8	8	366,67	3	3,42	657,80	-
Índice de Recomendação Centróide	4 centróide		IV		IV		II		II	-	-	-
	7 centróide		IV		IV		V		V	-	-	-

Continuação Tabela 4.

Parâmetro		Genótipo 5		Genótipo 6		Genótipo 7		Genótipo 8		Referência		
		Valor	Rank	Valor	Rank	Valor	Rank	Valor	Rank	Min	Max	Média
Potencial médio	Ambiente geral	54,67	6	85,01	1	58,58	4	75,47	2	52,48	85,01	62,48
	Ambiente favorável	72,12	6	105,	1	79,99	5	92,27	2	66,27	105,93	82,34
	Ambiente desfavorável	37,22	5	64,10	1	37,17	6	58,66	2	29,70	64,10	42,63
Plasticidade		1281,05	2	2524,88	4	2972,49	6	2843,68	5	1098,2	4046,49	-
Contribuição para a interação (W1%)		16,21	5	0,48	1	3,68	2	13,51	4	0,48	21,04	-
Índice de Recomendação Annicchiarico	Ambiente geral (%)	70,99	4	117,88	1	67,61	6	99,85	2	47,61	117,88	-
	Ambiente favorável (%)	65,35	5	129,34	1	50,37	7	108,77	2	27,59	129,34	-
	Ambiente desfavorável (%)	68,32	7	124,25	1	88,61	4	101,66	2	59,59	124,25	-
Adaptabilidade	$\beta_1^{1/}$	0,70 ^{ns}	-	1,06 ^{ns}	-	1,15 ^{ns}	-	1,07 ^{ns}	-	0,66	1,34	-
Estabilidade (%)	$S_d^{2/}$	22,36 ^{ns}	-	100,00 ^{ns}	-	100,00 ^{ns}	-	8,33 ^{ns}	-	22,36	100,00	-
	R ² (%)	86,33 ^s	-	99,94 ^s	-	98,88 ^s	-	89,62	-	80,32	99,94	-
Padrão J de resposta	Adaptabilidade $\beta_1^{1/}$	0,80 ^{ns}	-	1,05 ^{ns}	-	1,13 ^{ns}	-	1,0 ^{ns}	-	0,60	1,37	-
	Adaptabilidade $\beta_1 + \beta_2^{1/}$	0,14 [*]	-	1,12 ^{ns}	-	1,24 ^{ns}	-	1,45 ^{ns}	-	-0,11	1,93	-
	Estabilidade (%) $S_d^{2/}$	95,75 ^{ns}	-	99,99 ^{ns}	-	98,99 ^{ns}	-	91,59 ^{ns}	-	91,59	99,99	-
Padrão campeão	Ambiente geral	556,14	6	1,71	1	377,44	4	77,68	2	1,71	624,43	-
	Ambiente favorável	649,65	6	0	1	337,61	5	102,19	2	0	787,55	-
	Ambiente desfavorável	462,63	7	3,42	1	417,27	4	53,16	2	3,42	657,80	-
Índice de Recomendação Centróide	4 centróides		IV		I		IV		I	-	-	-
	7 centróides		V		I		V		VII	-	-	-

^{1/} **, * e ^{ns}; significativamente diferente de 1, pelo teste t, a 1 e 5% de probabilidade respectivamente e ^{ns} não significativamente diferente de 1, ^{2/} **, *, significativamente diferente de 0, pelo teste F, a 1 e 5% de probabilidade e ^{ns} não significativamente diferente de zero pelo teste F, ao nível de 1% de probabilidade. I: Adaptabilidade geral alta; II: Adaptabilidade específica a ambientes favoráveis; III: Adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis IV: Pouco adaptado; V: Média adaptabilidade geral; VI: Média adaptabilidade específica a ambientes favoráveis; VII: Média adaptabilidade específica a ambientes. **, *, ns: significativo (p<0,01), significativo (p<0,05) e não significativo, respectivamente.

Por meio do ranqueamento dos genótipos, verificou-se que o G6 se destacou para o parâmetro Potencial Médio ficando posicionado em primeiro lugar no ambiente geral (85,01 kg ha⁻¹), favorável (105,93 kg ha⁻¹) e desfavorável (64,10 kg ha⁻¹), demonstrando assim ser o melhor genótipo em todos os ambientes. O G8 também tem destaque por apresentar a segunda colocação em ambiente geral, favorável e desfavorável, 75,47 kg ha⁻¹, 92,2 kg ha⁻¹ e 58,6667 kg ha⁻¹, respectivamente. O G1 foi classificado em sétimo lugar no ambiente geral (53,38kg ha⁻¹), favorável (72,12 kg ha⁻¹) e desfavorável (37,22 kg ha⁻¹). A oitava colocação foi obtidas pelo G2 no ambiente geral (52,48 kg ha⁻¹), favorável (66,27 kg ha⁻¹) e pelo G3 no ambiente desfavorável (29,7 kg ha⁻¹).

Ao analisar os resultados obtidos pelo parâmetro Plasticidade notou-se que os genótipos G2 e G5 apresentaram as menor estimativas do quadrado médio da interação GxA, o que indica menor plasticidade fenotípica. De outra forma, por esse parâmetro, estes genótipos provavelmente apresentaram menor variação em sua fisiologia e/ou morfologia nos quatro ambientes avaliados indicando estabilidade. Já os genótipos 6 (G6) e 8 (G8) ficam na quarta e quinta posição, sendo considerados como uma plasticidade média.

O parâmetro da Contribuição Relativa para a Interação, também chamado de Ecovalência (Wi%), indica quanto um determinado genótipo contribuiu para a interação GxA. O genótipo G6 apresentou estimativa de 0,48%, sendo o genótipo que menos contribuiu para interação GxA, seguido dos G7 (3,68%) e G3 (12, 23%). Os G1 e G2 foram os que maios contribuíram para a interação G x A, representando 21,04% e 16,45%, respectivamente.

Os resultados obtidos pelo Índice de Recomendação ou índice de Confiança de Annicchiarico demonstraram que o G6 apresentou o melhor comportamento, ou seja, o melhorista terá um alto índice do confiança na recomendação desse genótipo em ambiente geral, favorável e desfavorável. O G8 apresentou resultado semelhante ao do G6, com a segunda posição para ambiente geral, favorável e desfavorável em relação aos demais genótipos selecionados.

Ao analisar o parâmetro de Adaptabilidade verificou-se que os valores de coeficiente de regressão variaram de 0,66 para o G2 à 1,34 para o G3. Grandes variações no coeficiente de regressão revelam que os genótipos foram diferentemente responsivos aos ambientes. Pfahler e Linsken (1979) demonstraram que a grande utilidade do coeficiente de regressão é identificar a resposta de determinado parâmetro à variabilidade entre os ambientes.

Além disso, observou que 62,5% dos genótipos (G4, G5, G6, G7 e G8) apresentaram estimativas não significativas indicando que esses obtiveram coeficientes de regressão estatisticamente iguais a um ($\beta_1=1$) e, portanto, apresentam ampla adaptabilidade aos ambientes avaliados. Vale ressaltar que os genótipos G7 e G8, são variedades de uso comercial, sendo listados dentre os materiais mais plantados no Mato Grosso do Sul ocupando a sexta e primeira posições, respectivamente e na região Centro Sul, ocupando a sexta e segunda posição. Dentre esses genótipos, apenas o G6 e G8 obtiveram médias superiores à média geral do experimento.

Ainda com relação à adaptabilidade, os genótipos G1 e G2 apresentaram estimativas do coeficiente de regressão menor que um ($\beta_1<1$), indicando adaptabilidade a ambientes desfavoráveis. Já o G3 apresentou estimativa do coeficiente de regressão maior que um ($\beta_1>1$), indicando adaptabilidade a ambientes favoráveis.

Quanto ao parâmetro Estabilidade, observou-se que os oito genótipos avaliados apresentaram desvio de regressão não significativo ($S^2_{d=0}$), permitindo inferir que os genótipos apresentam comportamento previsível quanto a TCH nas condições e ambientes testados nesse trabalho. Aliado as estimativas do desvio de regressão tem-se utilizado o coeficiente de determinação (R^2). Assim, genótipos que apresentaram desvio de regressão não significativo ($S^2_{d=0}$) e R^2 próximo a 1 não variam o TCH em função dos ambientes, ou seja, apresentam comportamento estável. Conforme Nascimento et al. (2010), pode-se classificar os genótipos de duas maneiras: como estabilidade ou previsibilidade alta, quando R^2 é maior que 70%; e com estabilidade ou previsibilidade baixa, quando R^2 é menor que 70%. Logo, todos os genótipos apresentam estabilidade alta, porém o genótipo G6 se destaca dos demais, mostrando ter comportamento constante nos diferentes ambientes.

Com relação ao Padrão J, que se baseia na metodologia de Cruz et al. (1989), verificou-se que os genótipos G1, G4, G5, G6 e G7 não diferiram de um ($\beta_1=1$), não sendo responsivos as variações do ambiente em condições desfavoráveis. Nas mesmas condições, os genótipos G2 e G3 se mostram pouco ($\beta_1<1$) e muito exigentes ($\beta_1<1$), respectivamente.

Quanto à resposta linear aos ambientes favoráveis ($\beta_1+\beta_2$), os genótipos G2, G3, G6, G7 e G8 não diferiram significativamente de um ($\beta_1+\beta_2=1$), indicando que esses aumentam o TCH à medida que o ambiente melhora. O G4 apresentou resultado significativamente maior que um ($\beta_1+\beta_2>1$), o que indica ser adaptado a ambientes favoráveis. Entretanto, em função da sua média ser menor que a média do experimento ele não é responsivo à melhoria ambiental. Os genótipos G1 e G5 apresentaram estimativas significativamente menores que um ($\beta_1+\beta_2<1$), sugerindo serem adaptados a ambientes desfavoráveis.

Com relação à estabilidade fenotípica ou à previsibilidade dos genótipos em termos de resposta linear à melhoria do ambiente, avaliadas pelos desvios da regressão, constata-se que os todos os genótipos apresentaram estimativa igual a zero ($S^2_{d=0}$). Podendo, dessa forma, serem classificados como estáveis em ambientes favoráveis e desfavoráveis.

Com base no Índice de Recomendação Centroide para quatro centroides os genótipos 6 e 8 foram classificados como de adaptabilidade geral alta, que indica máxima produção em ambientes favoráveis e desfavoráveis. Já para sete centroides verificou-se adaptabilidade geral alta para o G6 e média adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis (média produção em ambientes favoráveis e máxima em desfavoráveis) para o G8.

Considerando os dez parâmetros avaliados, o genótipo G6 é o que mais se aproximou do ideal em função apresentar a alta média de TCH ($92,21 \text{ kg ha}^{-1}$), adaptabilidade ampla e previsibilidade de comportamento nos ambientes considerados.

5. CONCLUSÕES

Nas condições avaliadas neste trabalho, os resultados permitiram concluir-se que:

Os oito genótipos de cana-de-açúcar apresentam interação com os quatro ambientes de cultivo.

- Os genótipos 1, 2 e 5 apresentaram estabilidade alta, adaptação específica a ambientes de baixos rendimentos como demonstrado em Rio Brilhante (ambiente 2) e na Fazenda “E.” em Nova Andradina – MS (ambiente 4).

- Os genótipos 3, 4, 7 e 8 apresentam estabilidade alta e adaptação específica a ambientes de altos rendimentos como Ivinhema -MS (ambiente 1) e na Fazenda “N.O.” em Nova Andradina - MS (ambiente 3).

- O genótipo 6 superou apresentou alta produtividade de toneladas de cana por hectares (TCH), alta estabilidade e ampla adaptabilidade.

6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALBINO, J. C.; CRESTE, S.; FIGUEIRA, A. **Mapeamento genético da cana-de-açúcar**. *Biotecnologia*, Ciência e Desenvolvimento, vol.36, p.82-91, 2006.

ALEXANDER, A.G. **Sugarcane physiology**. Amsterdam: Elsevier, 1973. 752p

AMALRAJ, V. A.; BALASUNDARAM, N. On the Taxonomy of the Members of ‘*Saccharum* Complex’. **Genetic Resources And Crop Evolution**, [S.L.], v. 53, n. 1, p. 35-41, 10 ago. 2005. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10722-004-0581-1#citeas>> Acesso em: 10 de out. de 2020.

ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfafa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics and Breeding**, Roma, n. 1, v. 46, p. 269-278, 1992.

BACCHI, O. O. S. **Nutrição da cana-de-açúcar**. Botânica da cana-de-açúcar. Piracicaba, cap.2. p. 24-37, 1983.

BARBOSA, M.H.P.; RESENDE, M.D.; SILVEIRA, L.C.I.; PETERNELLI, L.A. **Estratégias de melhoramento genético da cana-de-açúcar em universidades**. In: IX Simpósio sobre seleção recorrente. Lavras: UFLA, 2005.

BERNARDO, REX. Reinventing quantitative genetics for plant breeding: something old, something new, something borrowed, something BLUE. *Hereditary*, [S. l.], p. 11, 2020. DOI: 10.1038/s41437-020-0312-1. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/s41437-020-0312-1>

BERTOLANI, F. C.; JOAQUIM, A. C.; DONZELLI, J. L. **Sistema de classificação edafoclimática para a cultura da cana-de-açúcar**. In: Sistema de produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada à produção de energia e alimentos. 1 ed. Brasília, Embrapa. p.363-373, 2015.

BLACKBURN, F. **Sugarcane**. England: Longman House, 1984. 414p.

BORÉM, A. Melhoramento de plantas. Viçosa: UFV, 1997. 547 p. Acesso em: 23 jul 2022

BRADSHAW, A. D. Evolutionary significance of phenotypic plasticity in plants. **Advances in Genetics**, v. 13, p. 115-155, 1965

CAMPO GRANDE. Rodrigues F. Centro de Monitoramento do Tempo e do Clima de MS (org.). **Boletins Meteorológicos**. 2019. Disponível em: <https://www.cemtec.ms.gov.br/boletins-meteorologicos/>. Acesso em: 15 out. 2020.

CARGNELUTTI FILHO A, PERECIN D, MALHEIROS EB, GUADAGNIN JP. (2007). Comparação de métodos de adaptabilidade e estabilidade relacionados à produtividade de grãos de cultivares de milho. **Bragantia**, Campinas - SP. v.66, n.44, p 571-578.

CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. **Ecofisiologia de culturas extrativas: cana-de-açúcar; seringueira; coqueiro; dendezeiro e oliveira**. Cosmópolis: Stoller do Brasil, 2001. 138 p.

CEDAR, L.E. (Shadywood) (org.). **Condições meteorológicas médias de Bataiporã**. 2019. Disponível em: < <https://pt.weatherspark.com/y/29592/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Bataipor%C3%A3-Brasil-durante-o-ano>>. Acesso em: 16 out. 2020.

CHEAVEGATTI-GIANOTTO, A.; DE ABREU, H. M. C.; ARRUDA, P.; BESPALHOK FILHO, J. C.; BURNQUIST, W. L.; CRESTE, S.; ULIAN, E. C. Sugarcane (*Sacharum x S. officinarum*): a reference study for the regulation of genetically modified cultivars in Brazil. **Tropical Plant Biology**, New York, v. 4, n. 1, p. 62-89, 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Cana-de-açúcar, Previsão safra 2022/2023**. Primeiro levantamento, Abril de 2022. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar> > Acesso em: 18 de jul. de 2022

COSTA, N. H. A. DI.; SERAPHIN, J. C.; ZIMMERMANN, F. J. P. Novo método de classificação de coeficientes de variação para a cultura do arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s.l.], v. 37, n. 3, p.243-249, 2002

CROSBIE, TM., EATHINGTON, S.R., JOHNSON, G.R., EDWARDS, M., REITER, R., STARK, S., MOHANTY, R.G., OYERDES, M., BUEHLER, R.E., WALKER, A.K., DOBERT, R., DELANNAY, X., PERSHING, J.C., HALL, M.A., LAMKEY, K.R., (2006) Plant breeding: past, present and future. In Lamkey KR and Lee M (eds). **Plant breeding: the Arnel R. Hallauer international symposium**. Blackwell Publishing, Ames, p. 3- 50.

CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 35, p. 271-276, 2016.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético** - volume 2. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2ª ed. rev. 585p, 2006.

CRUZ, C. D.; TORRES, RA de; VENCOVSKY, R. **An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto**. Revista Brasileira de Genética, v. 12, n. 3, p. 567-580, 1989.

DEMATTÊ, J. L. I.; DEMATTÊ, J. A. M. **Ambientes de produção como estratégia de manejo na cultura da cana-de-açúcar**. IPNI: International Plant Nutrition Institute. Piracicaba, n. 127, p. 10-18, 2009.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB: FAO, 1994. 306 p. (Estudos FAO. Irrigação e drenagem, 33)

D'HONT, A.; GRIVET, P.; FELDMANN, J. C.; GLASZMANN, S.; BERDING, S. N. Characterisation of the double genome structure of modern sugarcane cultivars (*Saccharum spp.*) by molecular cytogenetics. **Molecular. Gen. Genet.** v.250, n. 405–413, 199).

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.

DUTRA FILHO, J.A.; MELO, L.J.O.T.; RESENDE, L.V.; ANUNCIACÃO FILHO, C.J. ; BASTOS, G.Q. **Aplicação de técnicas multivariadas no estudo da divergência genética em cana-de-açúcar**. Revista Ciência Agronômica. vol.42, p. 185-192, 2011.

DUARTE, J.B; VENCOVSKY, R. (1999) **Interação genótipos x ambientes: Uma introdução à análise “AMMI”**. Sociedade Brasileira de Genética, Ribeirão Preto.

EBERHART AS AND RUSSELL WA. (1966). **Stability parameters for comparing varieties**. Crop Science. 6(1):36-40

EEUWIJK, F.A.V.; BUSTOS-KORTS, D. V.; MALOSETTI, M. (2016). **What Should Students in Plant Breeding Know About the Statistical Aspects of Genotype Environment Interactions**. Crop Sci. 56:2119–2140.

FERNANDES JÚNIOR, A. R.; DA COSTA ANDRADE, J. A.; SANTOS, P. C. D.; HOFFMANN, H. P.; CHAPOLA, R. G.; CARNEIRO, M. S. **Adaptabilidade e estabilidade de clones de cana-de-açúcar**. p. 9. Jul. 2013. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/brag.2013.033>>. Acesso em: 10 out. 2022.

FIETZ, C. R.; FISCH, G. F. **O Clima da Região de Dourados, MS**. 2. Ed. Dourados – MS, Embrapa Oeste, 2008, 32p. Disponível <https://core.ac.uk/download/pdf/15437296.pdf>. Acesso em: 12 out. 2022.

FIETZ, C. R.; SILVA, J.S.; COMUNELLO, E.; FLUMIGNAN, D.L.; FILHO, J.R.A.L. **Época preferencial para plantio da cana-de-açúcar de ano e meio, com base no risco climático, na região sul de Mato Grosso do Sul**. 2015. Circular técnico. EMBRAPA. Disponível em: < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/136766/1/CT201535.pdf>> . Acesso em: 18 julho 2022

GEPTS, P; PAPA, R. Possible effects of (trans) gene flow from crops on the genetic diversity from landraces and wild relatives. **Environmental biosafety research**, Les Ulis, v. 2, n. 02, p. 89-103, 2003.

GRIVET, L.; ARRUDA, P. **Sugarcane genomics: depicting the complex genome of an importante tropical crop**. Current Opinion in Plant Biology. p.122-127, 2001.

GAUCH, H. G.; ZOBEL, R. W. AMMI analysis of yield trials. In: KANG, M. S.; GAUCH, H. G. (Ed.) **Genotype-by-environment proved and under what conditions this can be most environment interaction**. Boca Raton, FL: CRC Press. p. 1-40, 1996.

HANAUER, J. G. **Crescimento, desenvolvimento e produtividade de cana-de açúcar em cultivo de cana-planta e cana-soca de um ano em Santa Maria, RS**. 2011. 81 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS

HILL, J. **Genotype-environment interaction: A challenge to plant breeding**. Journal of Agricultural Sciences, v.85, p.477-499, 1975.

HOANG, N.V.; FURTADO, A.; BOTHA, F.C.; SIMMONS, B.A.; HENRY, R.J. **Potencial for genetic improvement of sugarcane as a source of biomass for biofuels**. Frontiers in

Bioengineering and Biotechnology, Lausanne, v. 3, p. 1-15, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3389/fbioe.2015.00182>>. Acesso em: 15 julho 2022

HOGARTH, D.M., 1987. Genetics of sugarcane. In: Heinz, D.J. (Ed.), **Sugarcane Improvement through Breeding**. Elsevier, Amsterdam, pp. 255–271.

HUMBERT, R.P. **El cultivo de la caña de azúcar**. Tradução de Alfonso Gonzalez Gallardo. México: Compañía Editorial Continental, 1974. 719p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL – INMET. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 20 set 2022.

JADOSKI, C.J.; TOPPA, E.V.B.; JULIANETTI, A.; HULSBOF, T.; ONO, E.O.; RODRIGUES, J. D. **Physiology development in the vegetative stage of sugarcane**. *Applied Research & Agrotechnology*, [S.l.], v. 3, n. 2, p. 169-186, sep. 2011. ISSN 1984-7548

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

KVITSCHAL, M. V. **Avaliação da estabilidade e da adaptabilidade de clones de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)**. 2003. 141 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá.

LAVORANTI, O. J.; LINS, A. C.; SILVA, H. D.; FERREIRA, C. A. **Modelagem AMMI para interação em modelos estatísticos de efeitos fixos**. 2004. Comunicado técnico. Embrapa, Colombo – PR. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/285806/1/comtec124.pdf>> . Acesso em: 27 out. 2020.

LIMA, N. R. W. L., SODRÉ, G. A., LIMA, H. R. R., PAIVA, S. R., LOBÃO, A. Q., COUTINHO, A. J. (2017) **Plasticidade fenotípica**, *Revista Ciência Elementar.*, V5(02):017. doi.org/10.24927/rce2017.017

LIN, C. S.; BINNS, M. R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. *Canadian Journal of Plant Science*, v. 68, n. 3, p. 193-198, 1988.

LOPEZ PINTO, C. H. D. **Adaptabilidade e estabilidade de clones de guaranazeiro pelos métodos Annicchiarico, REML/BLUP e Lin e Binns**. 2016. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Amazonas, Manaus – AM. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1053284/1/Tese2deDoutoradoDanielLopez.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2020.

MACHADO, R. **Sistema de produção orgânico para a soca da cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*), CONSORCIO COM MILHO (*Zea Mays*), feijão (*Phaseolus vulgaris*) e mandioca (*Manihot esculenta*)**. Universidade federal de São Carlos. Araras. p.2-3, 2008.

MAGRO, F.; TAKAO, G.; CAMARGO, P. E.; TAKAMATSU, S.Y. **Biometria em cana-de-açúcar**. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2011. p. 2.

MANNERS, J.; MCINTYRE, L.; CASU, R.; CORDEIRO, G.; JACKSON, M.; AITKEN, K.; JACKSON, P.; BONNETT, G.; LEE, S.; HENRY, R. **CAN genomics revolutionise genetics and breeding in sugarcane?** In: 4TH INTERNATIONAL CROP SCIENCE CONGRESS, 4, 2004, Brisbane, Qld. **Anais [...]** . Brisbane: Csiro Plant Industry, 2004. p. 1-8.

MANTOVANI, F. E. **Avaliação do coeficiente de variação em experimentos com a cultura da cana-de-açúcar.** Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2022. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/216595>>. Acesso em: 10 out 2022.

MANZATTO, C. V.; ASSAD, E. D.; BACCA, J. F. M.; ZARONI, M. J.; PEREIRA, S. E. M. **Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar: expandir a produção, preservar a vida, garantir o futuro.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 55 p. (Embrapa Solos. Documentos, 110).

MARIN, F.R. **Eficiência da produção de cana-de-açúcar brasileira: estado atual e cenários futuros baseados em simulações multimodelos.** Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2014.

MARIANO, G.L. Departamento de Meteorologia Universidade Federal de Pelotas. **Classificações climáticas.** Pelotas, 2014. 34 slides, color. Disponível em: <http://www.dca.iag.usp.br/material/mftandra2/ACA0225/Classifica%C3%A7%C3%A3o%20Clim%C3%A1tica_junho2018-1.pdf>. Acesso em: 20 out. 2020.

MARTINELLI, A.P. **Métodos AMMI, GGEbiplot, REML/BLUP e análise de fatores na estabilidade e estratificação de ambientes de safrinha para seleção de híbridos de milho.** 2013. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/12183/1/Andre%20Paulo.pdf>> . Acesso em: 28 out. 2020.

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

MERKEL, A. **NOVA ANDRADINA CLIMA.** 2019. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/mato-grosso-do-sul/nova-andradina-43511/>>. Acesso em: 15 out. 2020.

MINISTERIO DA AGRICULTURA. **Proteção de cultivares.** 2016. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/protecao-de-cultivar/protecao-de-cultivares>>. Acesso em: 21 julho 2022

MOORE , P.H.; PATERSON, A.H.; TEW, T. Sugarcane: Physiology, Biochemistry, and Functional Biology: Sugarcane: The Crop, the Plant, and Domestication. In: **SUGARCANE: Physiology, Biochemistry, and Functional Biology: Sugarcane: The Crop, the Plant, and Domestication.** REINO UNIDO: Wiley Blackwell, 2014. cap. 1, p. 1-17

MOORE, P. H.; MARETZKI, A. "Sugarcane." Photoassimilate distribution in plants and crops. Routledge, 2017. 643-670.

MORAIS, L. K.; AGUIAR, M. S.; SILVA, P. A.; CÂMARA, T. M. M.; CURSI, D. E.; FERNANDES JUNIOR, A. R.; CHAPOLA, R. G.; CARNEIRO, M. S.; BESPALHOK FILHO, J. C. **Breeding of Sugarcane**. In: CRUZ, V. M. V.; DIERIG, D. A. (Ed.). *Industrial Crops: breeding for bioenergy and bioproducts*. New York, USA: Springer, 2015. 444 p

MUKHERJEE S. K. Origin and distribution of *Saccharum*. **Botanical Gazette**, v.119, p.55–61, 1957.

NASCIMENTO, G. I. A.; CORDEIRO, N. M.; SILVA, M. M. L.; AMARAL, S.; FILHO, M. C. **PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO - 2005 A 2018**. 2020. COINTER PDVAagro 2020- RECIFE- PE. Disponível em: < <https://cointer.institutoidv.org/smart/2020/pdvagro/uploads/3655.pdf> >. Acesso em: 15 JULHO 2022.

NASCIMENTO, M.; FERREIRA, A.; FERRÃO, R.G.; CAMPANA, A.C.M.; BHERING, L.L.; CRUZ, C.D.; FERRÃO, M.A.G.; FONSECA, A.F.A. da. **Adaptabilidade e estabilidade via regressão não paramétrica em genótipos de café**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.45, p.41-48, 2010. DOI: 10.1590/ S0100-204X2010000100006.

PIMENTEL-GOMES, F. *Curso de Estatística Experimental*. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451 p.

PLAISTED, R. L.; PETERSON, L.C. A technique for evaluating the ability of selections to yield consistently in different locations and seasons. **American Potato Journal**, v. 36, n.2, p.381-385, 1959.

Presidência da República. LEI Nº 9.456, DE 25 DE ABRIL DE 1997 - **Lei de Proteção de Cultivares**. 1997. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19456.htm>. Acesso em: 21 julho 2022.

PONTES, D. S. **Desempenho de genótipos de alfafa considerando modelos com diferentes estruturas da matriz de covariâncias e na análise multi-informação**. 2020. Universidade Federal de Viçosa. 74f.

RAWITSCHER, F. **Elementos Básicos de Botânica**. 3. ed. São Paulo, SP: Edições Melhoramentos, 1953. 382p.

REGIS, J.A. V. B., ANDRADE, J. A. C., SANTOS, A., MORAES, A., TRINDADE, R. W. R., HENRIQUES, H. J. R. OLIVEIRA, L. C. Adaptability and phenotypic stability of sugarcane clones. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 53, n. 1, p. 42–52, 2018. doi:10.1590/S0100-204X2018000100005.

RIBEIRO, G. **Com clima adverso, safra de cana-de-açúcar 2021/22 cai 10,6%, diz Conab**. *Agro em dia*. Brasília. 2022. Disponível em: <Com clima adverso, safra de cana-de-açúcar 2021/22 cai 10,6%, diz Conab | AGROemDIA>. Acesso em: 19 julho 2022

RIDESA: **Rede Interuniversitária Para o Desenvolvimento do Setor Sulcroenergético: Melhoramento Genético**. Disponível em: < <http://www.ridesa.com.br/?pagina=melhoramento> > Acesso em: 21 de Julho. 2022.

ROACH, B.T.; DANIELS, J. A review of the origin e improvement of sugarcane. In: **Copersucar International Sugarcane Breeding Workshop**. São Paulo: Copersucar. p.1-31, 1987.

RODRIGUES, J.D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: UNESP, 1995. 100p. (Apostila).

RONDÔNIA. Townsend, C.R. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **1-5 Recomendações técnicas para o cultivo da cana-de-açúcar forrageira em Rondônia**. 21. ed. Rondônia: Embrapa, 2000. 5 p. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Rt_21_000fkv0qne702wyiv80sq98yqvmh7ouy.PDF. Acesso em: 28 out. 2022.

ROSA, G. F.; OLIVEIRA, D. A.; SILVA, F. L.; SEGRI, N. J.; HONGYU. K. **Verificação da adaptabilidade e estabilidade em milho pelo método AMMI**. 2017. Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis – MT. Disponível em: <<https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/biodiversidade/article/view/6015>> . Acesso em: 28 out. 2020.

ROSSE, L. N.; VENCOSKY, R.; FERREIRA, D. F. **Comparação de métodos de regressão para avaliar a estabilidade fenotípica em cana-de-açúcar**. Pesquisa agropecuária brasileira. Brasília, v. 37, n. 1, p. 25-32, jan. 2002.

SEGATO, S.S. et al. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V. et al. Atualização em produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: CP 2, 2006. p.19-36.

SILVA, M.A.; SANTOS, C.M.; ARANTES, M.T.; PINCELLI, R.P. Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios. **Tópicos em ecofisiologia da Cana-de-açúcar: fenologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisa Agrícolas e Florestais, 2010. Cap 1, p. 8. Disponível em: <https://issuu.com/diagrama/docs/cana>. Acesso em: 10 out. 2022.

SILVA, W. C. J.; DUARTE, J. B. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.1, p. 23-30, 2006. Acesso em: 23 jul 2022.

SILVA, G. N.; TOMAZ, R. S.; SANT'ANNA, I. C.; NASCIMENTO, M.; BHERING, L. L.; CRUZ, C. D.. Neural networks for predicting breeding values and genetic gains. **Scientia Agricola**, [S. l.], v. 71, n. 6, p. 494–498, 2014. DOI: 10.1590/0103-9016-2014-0057.

SILVA, S.D.A.; NOVA, D.E.; MONTEIRO, C.R.S.; STURZA, V.S. **Alternativas para a Diversificação da Agricultura Familiar de Base Ecológica-2017**. Sistema de produção de cana-de-açúcar para agricultura familiar. RS-2017.Pg 53. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/168067/1/Sergio-dos-Anjos-Documento-443-web.pdf>>. Acesso em: 25 Jul. 2022.

SCHIFINO-WITTMANN, M.T. Poliploidia e seu impacto na origem e evolução das plantas silvestres e cultivadas. **Revista Brasileira Agrociência**, Pelotas, v.10, n.2, p.151-157, 2004.

SOLTIS, P.S.; SOLTIS, D.E. The role of genetic and genomic attributes in the success of polyploids. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. p.7051-7057, 2000.

SKINNER, J. C., HOGARTH D. M., 1987 Selection Methods, Criteria, and Indices. In **Sugarcane Improvement through Breeding**, edited by D. J. Heinz, chapter 11, pp. p.409 – 453, Elsevier B.V., Amsterdam, 11th edition.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance, **Biometrics**, v.30, p.507–512, 1974.

THE PLANT LIST (2010) Version 1. Disponível em <http://www.theplantlist.org/> Cited 10 Jan 2011. Acesso: 01 out 2022.

THOMAS, A. L. **Desenvolvimento da planta cana-de-açúcar (2016)**. Disponível em: < <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/147567> >. Acesso em: 24 out 2022.

VAN DILLEWIJN, C. **Botany of sugarcane**. Waltham: Chronica Botanica, 1952. 371p.

VEIGA, C.F.M. **Influência do ambiente na fase inicial de seleção de progênies de cana-de-açúcar**. 1992. 122 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1992.

VENCOVSKY, R. **Melhoramento genético em vegetais**. Ciência e Cultura, v.38, p.1155-1160, 1986.

WELHAM, S.J.; GOGEL, B.J.; SMITH, A. B.; THOMPSON, R.; CULLIS, B. R. **A comparison of analysis methods for late-stage variety evaluation trials**. Australian & New Zealand Journal Of Statistics, v. 52, n. 2, p.125-149, 25 maio 2010.

WRICKE G. (1965). **Zur Berechnung der Ökovalenz bei Sommerweizen und Hafer**. Pflanzenzuchtung. 52(1): 127-138.

WHITMAN, W.W. AND ANANTHAKRISHNAN, T.N., 2009. **Phenotypic Plasticity of insects**. Mechanisms and Consequences. Science Publishers, United States of America l. 894p.