

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CAMPUS FREDERICO WESTPHALEN/RS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**Rayra Bañolas Bueno**

**DESEMPENHO AGRONÔMICO, CORRELAÇÕES E  
DISSIMILARIDADE ATRAVÉS DO ALGORITMO DE GOWER EM  
LINHAGENS DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Frederico Westphalen/RS  
2021

**Rayra Bañolas Bueno**

**DESEMPENHO AGRONÔMICO, CORRELAÇÕES E DISSIMILARIDADE  
ATRAVÉS DO ALGORITMO DE GOWER EM LINHAGENS DE CANA-DE-  
AÇÚCAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), campus Frederico Westphalen/RS, como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheira Agrônoma**

Orientador: Prof. Dr. Volmir Sergio Marchioro

Frederico Westphalen/RS

2021

**Rayra Bañolas Bueno**

**DESEMPENHO, CORRELAÇÕES E DISSIMILARIDADE ATRAVÉS DO  
ALGORITMO DE GOWER DE LINHAGENS DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), campus Frederico Westphalen/RS, como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheira Agrônoma**.

**Aprovado em 08 de setembro de 2021:**



---

**Volmir Sergio Marchioro**  
(Presidente/Orientador)



---

**Claudir José Basso**  
(Membro da banca)



---

**Luis Antônio Klein**  
(Membro da banca)

Frederico Westphalen/RS, Brasil

2021

## **DEDICATÓRIA**

*À minha família, por me trazer motivação nessa caminhada e estar sempre ao meu lado.*

## AGRADECIMENTOS

Obter a conquista de concluir o curso de Agronomia pela Universidade Federal de Santa Maria- Campus Frederico Westphalen, é um objetivo sendo concluído com sucesso. O sonho de ingressar e concluir a graduação em uma universidade federal renomada foi realizado, desta forma meus mais sinceros agradecimentos à:

À minha família, meus pais Nara Soares Bañolas e Sérgio Antônio Alves Bueno e minha irmã Ryenne Bañolas Bueno por nunca desistirem junto comigo desse sonho, servir como base e inspiração para eu seguir esse caminho difícil de cabeça erguida, me manter em pé frente às dificuldades que foram passadas por toda a família.

Ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Volmir Sergio Marchioro, agradeço pela confiança depositada sobre mim, pelo conhecimento compartilhado, sem dúvida um exemplo de profissional e pessoa.

Aos amigos e colegas do Laboratório de Melhoramento Genético e Produção de Plantas, em especial ao colega Luís Antônio Klein pelo suporte incondicional nessa reta final.

Aos amigos que a jornada acadêmica me proporcionou, agradeço pela amizade e companheirismo.

À Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) que possibilitou a realização deste trabalho.

A todos aqueles que contribuíram para que esta conquista fosse possível.

## RESUMO

### DESEMPENHO, CORRELAÇÕES E DISSIMILARIDADE ATRAVÉS DO ALGORITMO DE GOWER DE LINHAGENS DE CANA-DE-AÇÚCAR

AUTOR: Rayra Bañolas Bueno  
ORIENTADOR: Volmir Sergio Marchioro

O objetivo foi verificar o desempenho agrônômico de linhagens de cana-de-açúcar, identificar variáveis correlacionadas e utilizar o algoritmo de Gower na quantificação da divergência genética. O experimento foi conduzido em 2019, em blocos ao acaso com 3 repetições, na área experimental do Laboratório de Melhoramento Genético e Produção de Plantas (LMGPP), utilizando parcelas de 4 linhas com 4 metros de comprimento e espaçamento de 0,33 metros, na densidade de 4 plantas por metro linear. Foram cultivadas 10 linhagens de cana-de-açúcar e 3 cultivares testemunhas, RB 855156, RB 925345 e IAC87-3396. Foram avaliadas as características quantitativas comprimento do colmo (CDC), número de gemas por colmo (NGC), diâmetros da base, meio e ápice do colmo (DBC, DMC e DAC), graus brix da base, meio e ápice (GBB, GBM, GBA), massa dos colmos (MDC) e massa do bagaço (MDB), graus brix do caldo (GBC), rendimento do caldo (RDC). Também foram avaliadas 6 características qualitativas, as quais são pertencentes aos descritores morfológicos exigidos para a proteção de cultivares de cana-de-açúcar. As linhagens UFSMFW 4-01 e UFSMFW 4-09 se destacaram para massa dos colmos e rendimento do caldo demonstrando o maior potencial produtivo entre todas as linhagens. As correlações evidenciaram a massa dos colmos que está fortemente correlacionada com o rendimento do caldo e o diâmetro do colmo que está positivamente correlacionado massa dos colmos. A análise de agrupamento apontou a presença de variabilidade genética, onde as linhagens geradas compuseram grupos diferentes das testemunhas que foram induzidas à mutação.

**Palavras-chave:** Características quantitativas. Seleção de plantas. *Saccharum officinarum* L.

## ABSTRACT

### PERFORMANCE, CORRELATIONS AND DISSIMILARITY OF SUGAR CANE LINES USING THE GOWER ALGORITHM

AUTHOR: Rayra Bañolas Bueno  
ADVISOR: Volmir Sergio Marchioro

The objective was to verify the agronomic performance of sugarcane lines, identify correlated variables and use the Gower algorithm to quantify the genetic divergence. The experiment was conducted in 2019, in randomized blocks with 3 replications, in the experimental area of the Laboratory of Genetic Improvement and Plant Production (LMGPP), using plots of 4 lines, 4 meters length and 0.33 meters distance, in the density of 4 plants per linear meter. Ten sugarcane lines and 3 control cultivars were cultivated, RB 855156, RB 925345 and IAC87-3396. Quantitative characteristics were evaluated as stalk length (SL), number of buds per stalk (NBS), diameters of the base, middle and apex of the stalk (DBS, DMS and DAS), degrees brix of the base, middle and apex (DBB, DBM, DBA), stalk mass (SM) and bagasse mass (BM), juice brix degrees (JBD), juice yield (JY). Six qualitative characteristics were also evaluated, which belong to the morphological descriptors required for the protection of sugarcane cultivars. The lines UFSMFW 4-01 and UFSMFW 4-09 stood out for stalk mass and juice yield, demonstrating the greatest productive potential among all lines. The correlations show the stalk mass, which is strongly correlated with the juice yield, and the stalk diameter, which is positively correlated with the stalk mass. A cluster analysis showed the presence of genetic variability, where the generated lines composed different groups from the controls that were induced to the mutation.

**Keywords:** Quantitative characteristics. Selection of plants. *Saccharum officinarum* L.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Tabela 1 - Análise de variância das características comprimento do colmo (CDC), número de gemas por colmo (NGC), diâmetro da base, meio e ápice do colmo (DBC, DMC e DAC), graus brix da base, meio e ápice (GBB, GBM, GBA), massa dos colmos (MDC), massa do bagaço (MDB), graus brix do caldo (GBC) e rendimento do caldo (RDC) em Frederico Westphalen, 2020..... 19
- Tabela 2 - Parâmetros genéticos alocados em teste de agrupamento de médias para as características comprimento do colmo (CDC), número de gemas por colmo (NGC), diâmetro da base, meio e ápice do colmo (DBC, DMC e DAC), Frederico Westphalen, 2020. .... 20
- Tabela 3 - Continuação do teste de medias considerando as características graus brix da base, meio e ápice (GBB, GBM, GBA), massa dos colmos (MDC), massa do bagaço (MDB), graus brix do caldo (GBC) e rendimento do caldo (RDC), Frederico Westphalen, 2020. .... 21
- Figura 1 - Correlação linear de Pearson entre as características comprimento do colmo (CDC), número de gemas por colmo (NGC), diâmetro da base, meio e ápice do colmo (DBC, DMC e DAC), graus brix da base, meio e ápice (GBB, GBM, GBA), massa dos colmos (MDC), massa do bagaço (MDB), graus brix do caldo (GBC) e rendimento do caldo (RDC), Frederico Westphalen, 2020. .... 23
- Figura 2 - Dendrograma de 13 genótipos de cana-de-açúcar pelo método UPGMA baseado na matriz de distância de Gower. Os diferentes tipos de linha representam grupos distintos obtidos através das 9 características quantitativas e seis características nominais. Frederico Westphalen, 2020 ..... 24



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>11</b>
2.1 IMPORTÂNCIA DA CULTURA.....	11
2.2 DESCRIÇÃO BOTÂNICA E MORFOLÓGICA.....	12
2.3 CARACTERÍSTICAS ORDINAIS E NOMINAIS .....	13
2.4 DISSIMILARIDADE GENÉTICA E ALGORÍTMO DE GOWER .....	15
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>17</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>19</b>
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>25</b>
<b>6 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>26</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) está entre as culturas agrícolas de maior importância econômica para o Brasil, pois é considerada uma importante alternativa de matéria-prima para a produção de biocombustíveis, devido ao seu potencial de produção de etanol, além da produção de açúcar e utilização na alimentação animal (SILVA et al., 2018).

Estima-se que a produção da safra 2020/21 chegará a 665,10 milhões de toneladas com um aumento de 3,5 %, sendo cultivada uma área que deverá atingir 8,61 milhões de hectares. No entanto, no estado do Rio Grande do Sul, a safra atual apresenta uma estimativa de redução de 2,7% na área cultivada e de 0,3% na produtividade se comparada com o ano anterior, sendo esperado a produção de 34,5 milhões de toneladas (CONAB, 2021).

A cana-de-açúcar é considerada sensível ao frio, logo, períodos de temperaturas baixas, bem como a formação de geadas durante o desenvolvimento da cultura, levam a redução de produtividade e diminuição do acúmulo de sacarose no colmo (ANTUNES et al., 2016). Os danos causados pela geada na cultura da cana-de-açúcar estão ligados a variáveis como intensidade, duração e frequência dessa condição de frio, e, além desses, pode ser citada também o estágio de desenvolvimento da planta em que este fenômeno climático acaba ocorrendo (VERISSIMO et al., 2018).

A partir disso, torna-se importante o melhoramento genético para o desenvolvimento de cultivares de cana-de-açúcar adaptadas as condições locais, visando melhorar a rentabilidade e sustentabilidade do cultivo nessas condições (MORAIS et al., 2017). Os programas de melhoramento genético conduzidos atualmente no Brasil e no mundo estão voltados principalmente para o desenvolvimento de cultivares geneticamente superiores, que apresentem o máximo de caracteres desejáveis, tais como, alta produtividade, alto teor de sacarose, alta produção de etanol e de biomassa (BEZERRA et al., 2018).

Apesar disso, os programas de melhoramento conduzidos atualmente precisam ampliar a base genética da cana-de-açúcar, pois a estreita variabilidade genética é fator limitante para o desenvolvimento de cultivares com altos teores de sacarose e resistentes a estresses bióticos e abióticos (MIRAJKAR et al., 2017). No entanto, as condições climáticas da região Sul do Brasil não permitem a realização de cruzamentos entre genótipos de cana-de-açúcar com o intuito de aumentar a variabilidade genética (NARDINO et al., 2016). Devido a essa dificuldade, a criação de variabilidade genética através da indução de mutações vem sendo uma alternativa importante, mas no momento de avaliar esses genótipos são encontrados

características ordinais e nominais, o que dificulta a análise para fins de caracterização dos genótipos, muitas vezes resultando na incompleta distinção entre eles.

Sendo assim, a análise conjunta das variáveis ordinais e nominais foi proposta por Gower (1971). Alguns trabalhos, que utilizam desta abordagem, são relatados em estudos feitos com *Glycine max L.* (FOLLMANN et al., 2019), com *Urochloa brizantha* (TORRES et al., 2015) e com *Solanum lycopersicum* (CABODEVILA et al., 2017). Diante disso, o estudo da dissimilaridade genética existente entre os genótipos mutantes é importante para identificar a variabilidade genética que há entre esses indivíduos (GILES et al., 2019).

Nesse contexto, o objetivo do estudo foi verificar o desempenho agrônômico de linhagens de cana-de-açúcar, identificar variáveis que possam estar correlacionadas e estas serem importantes para auxiliar na seleção de linhagens superiores, além de utilizar o algoritmo de Gower na quantificação da divergência genética.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 IMPORTÂNCIA DA CULTURA

A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) possui uma grande importância econômica no cenário mundial, sendo o Brasil o maior produtor (MENEGUETTI; MEZAROBA; GROFF, 2010). A cada ano, o cultivo da cultura da cana-de-açúcar avança para novas regiões de cultivo, expandindo-se assim, por todo o território nacional. Com isso, aumenta a produção de matéria prima, a qual será utilizada pelo homem principalmente para a produção de açúcar e etanol (CARVALHO et al., 2013a).

A utilização da cana-de-açúcar como fonte de matéria prima para produção de açúcar e de etanol, este último sendo utilizado como biocombustível, fez com que a cultura se estabelecesse em um novo patamar de importância na economia mundial (ZUANAZZI; MAYORGA, 2010). Com a alta de preços dos combustíveis oriundos do petróleo e da poluição por eles causada, o etanol tem sido considerado uma opção para diminuir os impactos ambientais (CARVALHO et al., 2013b). O açúcar por sua vez, também apresenta elevada demanda, onde estimativas mostram que o consumo deste componente é, em média, responsável por mais de 20% do total de energia ingerida por alguns indivíduos (LUSTIG; SCHMIDT; BRINDIS, 2012).

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) na safra 2021/2021, a produtividade média deverá ser de 77,23 toneladas por hectare de cana-de-açúcar em 8,61 milhões de hectares, sendo que a produção de etanol em 2020 atingiu 29,8 bilhões de litros, tendo uma redução da produção em comparação com a safra de 2019, onde o principal motivo foi o aumento da produção de açúcar em 40,4%. Os números de produtividade e produção são fortes indicadores do desenvolvimento tecnológico ocorrido nos últimos anos no setor sucroalcooleiro do país, bem como de sua competitividade a nível mundial, impulsionado pela boa demanda interna e pela exportação (SOARES; ROSSELL, 2008).

Ainda, fatores como o envelhecimento dos canaviais, baixa taxa de renovação e falta de investimento por parte de alguns produtores têm mantido a média nacional de produtividade baixa. Produtividades de 100 a 150 toneladas de cana-de-açúcar por hectare, o que representa mais que o dobro da produtividade média do País, revelam o potencial produtivo a ser explorado para a cultura (DOOREBOS; KASSAM, 1994). O Brasil tem as condições necessárias para a ampliação da produção de cana, pois possui grande quantidade

de terras cultiváveis e as melhores condições edafoclimáticas para a exploração da cultura em comparação a outros países (GOES; MARRA; SILVA, 2008).

## 2.2 DESCRIÇÃO BOTÂNICA E MORFOLÓGICA

Segundo Castro e Kluge (2001), a cultura da cana-de-açúcar é semi-perene e pode ser cultivada em áreas subtropicais, pertencente à família *Poaceae* (gramíneas) e gênero *Saccharum*. Ainda segundo Machado e Habib (2009), o cultivo é complexo, onde em um único plantio podem ser efetuadas de 5 a 7 colheitas, e deve se fazer a renovação do canavial com altos investimentos em tecnologia.

As plantas do gênero *Saccharum* crescem em forma de touceira, sendo a parte aérea formada por colmos, o caule típico das gramíneas, folhas e inflorescências, com uma parte subterrânea formada por raízes e rizomas (MOZAMBANI et al., 2006). Os nós e entrenós proporcionam suporte às folhas e as panículas onde se realiza grande parte do intercâmbio vascular da planta, constituindo em reservatório da planta e acumulando grande quantidade de sacarose, principalmente nos internódios basais (CASAGRANDE, 1991).

Apresenta reprodução sexuada, mas comumente o plantio ocorre a partir de segmentos do colmo denominados “toletes”. O tolete é composto por nós e entrenós (THOMAS, 2016). Segundo Miranda et al. (2008), nesse processo de plantio de colmos, nos nós presentes começam a se formar o sistema radicular originando uma nova planta. As folhas brotam a partir do meristema apical de cada colmo, se posicionando de forma alternada e oposta, com uma folha a cada nó. A coloração varia dependendo da posição, idade e variedade da cana e disponibilidade hídrica do solo. Em plantas mais novas o número de folhas por colmo é pequeno, havendo um aumento com o crescimento da planta (RAMME; LAMPARELLI; ROCHA, 2010).

Conforme Aude (1993), as cultivares de cana-de-açúcar podem ser classificadas em precoces, médias e tardias em relação à época que acumulam açúcar, assim apresentando períodos de maturação diferenciados. Cultivares que apresentam ciclo precoce acumulam açúcar mais cedo e logo estão prontas para ser colhidas, enquanto as de ciclo tardio somente poderão ser colhidas no final da safra.

A cana-de-açúcar também pode ser classificada em função do período útil de industrialização (PUI), que é o momento que a planta alcançou grau brix desejável pela indústria, que pode variar de cultivar de ciclo longo para cultivar de ciclo curto, até a colheita sem ocorrer inversão da sacarose. Dependendo da variedade e do ambiente no qual se

desenvolve, o ciclo fenológico da cultura da cana-de-açúcar pode ter duração inicial de 16 meses para cana-planta e 12 meses para cana-soca, com os mesmos estádios de desenvolvimento, entretanto com duração diferente (TUTA, 2013).

De acordo com Varella, Barros e Basso (2012), o brix é um indicador de maturação da cana-de-açúcar bastante utilizado. Tem como objetivo indicar o teor de sacarose da cana, teor que é dependente da adubação, controle de pragas e doenças, umidade e grau de compactação do solo, entre outros.

A vantagem desse indicador é que pode ser medido com refratômetro diretamente no campo. Desta forma, o brix assume um importante papel na tomada de decisão, como o momento ideal de se colher a cultura, ou como um importante indicador qualitativo de manejo. Conforme Correia et al. (2014), a concentração de açúcares tem a sua importância destacada, pois a partir destes são obtidos os demais subprodutos da cana-de-açúcar, dependendo diretamente de parâmetros tecnológicos como o Brix (teor de sólidos solúveis), Pol (teor de sacarose), PZA (pureza do caldo), fibras e PCC (percentagem de açúcar bruto), onde a partir destes é possível estimar o valor da tonelada da cana produzida e o seu potencial econômico.

Após o corte, ocorre o rebrote da planta, onde o substrato para crescimento das gemas é fornecido pelas raízes e rizomas da planta, dando origem a um novo ciclo de crescimento (SEGATO; MATTIUZ; MOZAMBANI, 2006).

A planta originária de um colmo plantado é conhecida como cana-planta, enquanto a planta originada da rebrota é denominada cana-soca. Após sucessivos cortes, há um decréscimo na produtividade, sendo necessário a renovação do canavial através do replantio.

### 2.3 CARACTERÍSTICAS ORDINAIS E NOMINAIS

Quando fazemos uma amostragem, coletamos informações sobre uma característica de interesse e sobre diversas outras características que ajudam a explicar a característica principal. A coleta de informações passa por vários estádios e obrigatoriamente depara-se com o conceito de variável e com o pressuposto da sua medição (CURADO; TELES; MARÔCO, 2013). Cada uma das características avaliadas é denominada de variável. Um exemplo comum em experimentos estatísticos que estudam plantas, uma variável bastante utilizada é a produtividade por unidade de área.

Ainda, os valores que as variáveis assumem podem ser divididos em qualitativos e quantitativos. Segundo Shimakura (2015), as variáveis são qualitativas quando as

características avaliadas se diferem por suas qualidades, sendo divididas em qualitativas ordinais ou nominais. Variáveis qualitativas nominais não seguem uma ordenação. Podemos citar como exemplo cores, nomes, sexo, formas entre outras. Já para as variáveis do tipo qualitativas ordinais, segue-se uma ordenação entre as categorias (SHIMAKURA, 2015). Neste caso podemos citar como exemplo tamanhos (pequeno, médio, grande), escolaridade (1º, 2º, 3º graus) e mês de observação (janeiro, fevereiro, ..., dezembro).

Por sua vez, as variáveis são consideradas quantitativas, discretas ou contínuas, quando sua mensuração se dá em uma escala numérica que faz sentido. Variáveis quantitativas discretas acontecem em situações limitadas, apresentando valores mensuráveis, podendo assumir apenas um número finito ou infinito contável de valores, fazendo sentido apenas números inteiros entre quaisquer dois valores (REIS; REIS, 2001). Assim, geralmente são resultados de contagens, como número de filhos, número de passageiros ou números de cigarros fumados em um dia. Variáveis quantitativas contínuas são aquelas que assumem valores em uma escala contínua, onde valores fracionados também fazem sentido (REIS; REIS, 2001). Neste caso, temos o exemplo de mensuração de peso, altura e tempo.

Variáveis quantitativas e qualitativas não se fazem presente apenas para a matemática, mas se enquadram em todos os tipos de pesquisas, inclusive as quais trabalham com fatores genéticos. Quando relacionamos estas características ao cultivo da cana-de-açúcar, podemos dizer que estas são de fundamental importância, pois revelam diversas relações, as quais devemos considerar quando buscamos alternativas para aumentar a qualidade e a produtividade dos cultivos.

Assim, quando relacionamos as características sob viés do melhoramento genético da cana-de-açúcar, Morais et.al. (2015) afirma que os caracteres qualitativos são controlados por um ou poucos genes e sofrem baixa influência ambiental; neste caso, o fenótipo observado em campo pelo melhorista reflete o mérito genético do indivíduo, tornando a seleção mais eficiente. Por outro lado, os caracteres complexos ou quantitativos, são controlados por muitos genes, apresentando elevada ação ambiental e possível interação entre genótipos e ambientes.

Logo podemos salientar que as variáveis que são medidas, como por exemplo, a altura de planta, diâmetro do colmo, toneladas produzidas por área, números de colmos por planta, dentre outros, são exemplos de características quantitativas comumente avaliadas.

Já para as características qualitativas, podemos citar algumas como a arquitetura foliar, saliência da gema, hábito crescimento, despalha, rachadura do colmo, intensidade de perfilhamento, cor do colmo e cor do palmito, sendo que estas podem estar classificadas entre

ordinais ou nominais. As variáveis qualitativas em plantas também são chamadas de descritores, pois ajudam a diferenciar os genótipos uns dos outros, sendo exigidas pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) para proteção e registro de novas cultivares de cana-de-açúcar.

## 2.4 DISSIMILARIDADE GENÉTICA E ALGORÍTMO DE GOWER

Ampliar a variabilidade genética é essencial para a formação de populações segregantes em programas de melhoramento genético, principalmente quando o objetivo é aumentar a base genética dos cultivares a serem indicados aos agricultores (BERTAN et al., 2007). No caso da cana-de-açúcar, apesar da reprodução sexuada, a principal forma de propagação é a assexuada pelo plantio dos colmos. Ainda, no estado do Rio Grande do Sul, não se têm as condições necessárias para que ocorra o florescimento da cultura (NARDINO et al., 2016), desta forma se pode gerar variabilidade genética através de outros métodos, como a indução a mutação por agentes químicos e físicos.

O estudo da dissimilaridade genética, seja ela para escolha de genitores para cruzamentos ou para avaliação de progênes, é uma ferramenta importante para auxiliar no progresso do melhoramento genético das culturas, uma vez que permite maior praticidade na identificação genótipos com as características desejadas, atendendo a necessidade de que o melhoramento seja dinâmico, rápido e economicamente eficiente (BENIN et al., 2003).

O uso de análises multivariadas para o estudo da divergência genética é baseado em algoritmos, ou medidas de distância, que consideram simultaneamente inúmeras características consideradas nos experimentos de caracterização e avaliação de germoplasma (VILELA et al., 2008). Os métodos de agrupamentos de genótipos, muito utilizados em estudos de dissimilaridade genética, tem como princípio reunir os genótipos em grupos, de tal forma que haja homogeneidade dentro destes e heterogeneidade entre eles.

A caracterização de genótipos pode levar a geração de muitos dados de diferentes categorias de variáveis (qualitativas e quantitativas), este fato, dificulta a análise e a interpretação dos mesmos (ROCHA, et al., 2010). Ainda segundo Rocha et al. (2010), poucos trabalhos utilizam a análise conjunta de variáveis quantitativas e qualitativas por desconhecerem as técnicas estatísticas que permitem essa abordagem, deixando de obter um estudo mais detalhado da variabilidade existente na população em estudo.

O método de estudo da distância genética pela análise simultânea de variáveis quantitativas e qualitativas foi proposto por Gower (1971). Nesta técnica, características



qualitativas e quantitativas são reescaladas para que os valores da matriz de distância genética fiquem entre 0 e 1, possuindo pesos iguais. Após a determinação da distância genética, um método de agrupamento dos genótipos é utilizado, podendo ser ele UPGMA (Unweighted Pair-Group Method Using an Arithmetic Average), Ward e Vizinho Mais Próximo.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no ano agrícola de 2019, na área experimental do Laboratório de Melhoramento Genético e Produção de Plantas (LMGPP), na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), *Campus* de Frederico Westphalen/RS, localizado nas coordenadas 27° 23'26" S, 53°25'43" W, com altitude de 461,3 m ao nível do mar. O solo do local é caracterizado como Latossolo Vermelho Distrófico (EMBRAPA, 2006). O clima da região é caracterizado como subtropical úmido segundo Köppen, ou seja, subtropical úmido, com precipitação média anual elevada, em torno de 1.800 e 2.100 mm bem distribuídos ao longo do ano (ALVARES et al., 2013).

O genótipo utilizado para indução da mutação foi o cultivar IAC87-3396. O processo de indução foi realizado pela alocação de gemas da base, meio e ápice, individuais imersas em solução do mutagênico químico *Metil Metano Sulfonato* (MMS) na concentração de 5 ppm, por 12 horas. Posteriormente, essas gemas foram lavadas para remoção dos agentes alquilantes em excesso e colocadas em ácido indolacético por 60 minutos para induzir o desenvolvimento das raízes. As populações geradas foram submetidas a seleção a campo e dezenas de linhagens foram selecionadas durante várias gerações de avanço.

Para este estudo, foram utilizadas 10 linhagens homozigotas, sendo elas: UFSMFW 4-01, UFSMFW 4-02, UFSMFW 4-03, UFSMFW 4-04, UFSMFW 4-05, UFSMFW 4-06, UFSMFW 4-07, UFSMFW 4-08, UFSMFW 4-09, UFSMFW 4-10, juntamente com 3 cultivares testemunhas, RB 855156, RB 925345 e IAC87-3396.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com três repetições. As parcelas foram compostas por 4 linhas de 4 m de comprimento, espaçadas em 0,33 m, em uma densidade de 4 plantas por metro linear. Práticas culturais, como controle de insetos e plantas daninhas, foram realizadas sempre que necessário, para que a cultura não sofresse competição, seguindo instruções técnicas de manejo.

Todas as características foram obtidas pela média de quatro colmos principais em cada parcela. As características quantitativas avaliadas foram o comprimento do colmo (CDC), medido da base do solo ao ápice do colmo, em centímetros; número de gemas por colmo (NGC), medida através da contagem das gemas no colmo; diâmetros da base, meio e ápice do colmo (DBC, DMC e DAC), medidos com paquímetro em milímetros na parte inferior, meio e ápice da planta; graus brix da base, meio e ápice (GBB, GBM, GBA), cujos níveis foram determinados com uso de um refratômetro comercial; massa dos colmos (MDC) e massa do bagaço (MDB), obtidas em balança analítica, em gramas; graus brix do caldo (GBC), obtido

com uso de um refratômetro comercial; rendimento do caldo (RDC), quantidade de caldo extraído com moedor de cana de três cilindros e medida em proveta graduada.

Para uma maior abrangência do estudo da divergência genética, seis características qualitativas também foram utilizadas, sendo elas perfilhamento da planta (PDP), classificado em baixo: 3, médio: 5, alto: 7; intensidade da coloração verde da folhagem da planta (ICP), classificada em clara: 3, média: 5, escura: 7, Comprimento da lâmina foliar (CLF), curto: 3, médio: 5, longo: 7, aspecto da superfície da casca do entrenó (ACE), liso: 3, médio: 5, rugoso (suberoso): 7, coloração do entrenó quando exposto ao sol (CES), branco e verde: 1, amarelo e verde: 2, amarelo e roxo: 3, verde: 4, verde e amarelo: 5, verde e roxo: 6, roxo: 7, roxo e amarelo: 8, roxo e verde: 9, coloração do entrenó quando não exposto ao sol (CNS), branco e verde: 1, amarelo e verde: 2, amarelo e roxo: 3, verde: 4, verde e amarelo: 5, verde e roxo: 6, roxo: 7, roxo e amarelo: 8, roxo e verde: 9.

Os dados foram submetidos à análise de variância e para as características quantitativas analisadas que apresentaram significância a 5% de probabilidade de erro, realizou-se o teste de agrupamento de médias de Scott-Knott. Essas análises estatísticas foram realizadas no software Genes (CRUZ, 2016).

Com o objetivo de estudar a divergência genética por meio de variáveis ordinais e nominais, foi utilizado o algoritmo de Gower (GOWER, 1971). O agrupamento hierárquico foi obtido pelo método UPGMA utilizando a matriz de distâncias de Gower e o número de grupos estimado utilizando o pacote *pvclust* (SUZUKI; SHIMODAIRA, 2006). Essas análises foram realizadas no software R 3.4.2 (R CORE TEAM, 2016).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância, referente às características CDC, NGC, DBC, DMC, DAC, GBB, GBM, GBA, MDC, MDB e RDC, revelou a existência de diferença significativa pelo teste F ( $p < 0,05$ ) entre os genótipos avaliados. No entanto, a característica GBC não apresentou diferença significativa para os tratamentos testados (Tabela 3).

O coeficiente de variação (CV) variou de 4,55% a 16,25% para as características avaliadas (Tabela 1), onde segundo a classificação de Pimentel Gomes (2000), esses resultados apresentam acurácia alta a média, indicando que os resultados são confiáveis e o experimento foi realizado de maneira correta.

Tabela 1 - Análise de variância das características comprimento do colmo (CDC), número de gemas por colmo (NGC), diâmetro da base, meio e ápice do colmo (DBC, DMC e DAC), graus brix da base, meio e ápice (GBB, GBM, GBA), massa dos colmos (MDC), massa do bagaço (MDB), graus brix do caldo (GBC) e rendimento do caldo (RDC) em Frederico Westphalen, 2020.

Fontes de variação	<sup>1</sup> GL	Quadrado médio											
		CDC	NGC	DBC	DMC	DAC	GBB	GBM	GBA	MDC	MDB	GBC	RDC
Bloco	2	385,87	1,72	0,44	3,31	0,46	0,03	0,77	3,89	210.315.534,83	25.522.587,93	0,79	42.723.396,45
Genótipos	12	1.749,47*	7,26*	11,47*	11,50*	11,69*	3,93*	3,13*	30,59*	819.810.281,11*	243.725.502,04*	1,47 <sup>ns</sup>	264.832.897,84*
Resíduo	24	222,12	0,89	3,99	4,72	4,30	0,75	0,93	3,26	164.885.291,92	38.072.455,70	1,04	50.740.598,05
Total	38												
Média		163,50	14,22	24,48	27,91	26,92	19,02	17,84	11,40	97.996,02	48.897,39	16,54	43.826,69
<sup>2</sup> CV (%)		9,12	6,62	8,16	7,78	7,70	4,55	5,41	15,85	13,10	12,62	6,16	16,25

<sup>1</sup>GL: graus de liberdade; <sup>2</sup>CV (%): coeficientes de variação; \*: valores significativos para teste F a 5% de probabilidade de erro; <sup>ns</sup>: não significativo.

Analisando a Tabela 2, se verifica que os genótipos UF5MF4W 4-02, UF5MF4W 4-04, UF5MF4W 4-05 e UF5MF4W 4-06 apresentaram as melhores médias para CDC e não diferiram estatisticamente entre si, permanecendo no mesmo grupo, diferindo do restante dos genótipos e das testemunhas. Ferreira et al. (2007) relatou a importância de caracterizar o comprimento do caule, onde ele mencionou que esta variável é a mais relevante para a produtividade, estando relacionado com diâmetro do colmo e conseqüentemente com rendimento.

Para a característica NGC destacaram-se com as maiores médias os genótipos UF5MF4W 4-02, UF5MF4W 4-04, UF5MF4W 4-05, UF5MF4W 4-06 e UF5MF4W 4-10, no entanto, permaneceram no mesmo grupo da testemunha RB925345 e do seu progenitor IAC87-3396. De acordo com Magro et al. (2011), a reprodução da cana-de-açúcar é realizada com o plantio do tolete com uma gema, a qual brota e gera uma nova planta, estando assim o NGC diretamente relacionado com a capacidade de reprodução dessa planta.

Tratando das características relacionadas ao diâmetro do caule, para a variável DBC todos os genótipos foram superiores estatisticamente das testemunhas, permanecendo em um mesmo grupo. Os genótipos UFSMFW4-01, UFSMFW 4-02, UFSMFW 4-04, UFSMFW 4-05, UFSMFW 4-06, UFSMFW 4-08, UFSMFW 4-09 e UFSMFW 4-10 apresentaram os maiores valores para DMC e não diferiram do progenitor IAC87-3396. Ainda, a testemunha RB 925345 apresentou o menor DMC. As maiores médias para DAC foram provenientes dos genótipos UFSMFW4-01, UFSMFW 4-02, UFSMFW 4-05, UFSMFW 4-07, UFSMFW 4-08, UFSMFW 4-09 e UFSMFW 4-10, sendo superiores ao progenitor e às testemunhas. Nota-se que os genótipos gerados a partir da indução a mutação destacam-se com maiores diâmetros do colmo, o que é importante na busca por maior rendimento de caldo. O diâmetro do colmo é de grande relevância quando se fala de aumento de produtividade na cultura da cana-de-açúcar. De acordo com o estudo de Morais et. al. (2017) o diâmetro do colmo é um dos atributos que evidencia uma elevação no resultado de produtividade de colmos. Conseqüentemente no aumento de rendimento de caldo.

Tabela 2 - Teste de agrupamento de médias para as características comprimento do colmo (CDC), número de gemas por colmo (NGC), diâmetro da base, meio e ápice do colmo (DBC, DMC e DAC), Frederico Westphalen, 2020.

Genótipo	CDC	NGC	DBC	DMC	DAC
	cm	n°	mm	mm	mm
UFSMFW 4-01	124,67 b	13,89 b	25,77 a	27,97 a	28,35 a
UFSMFW 4-02	180,89 a	14,78 a	24,53 a	29,52 a	28,80 a
UFSMFW 4-03	163,67 b	13,22 b	24,17 a	26,98 b	26,09 b
UFSMFW 4-04	198,89 a	16,11 a	25,00 a	29,73 a	25,62 b
UFSMFW 4-05	200,56 a	15,22 a	25,48 a	29,88 a	28,18 a
UFSMFW 4-06	199,66 a	15,33 a	26,23 a	29,20 a	25,11 b
UFSMFW 4-07	151,33 b	11,55 b	24,05 a	26,86 b	27,60 a
UFSMFW 4-08	148,89 b	12,33 b	25,42 a	28,41 a	28,69 a
UFSMFW 4-09	151,22 b	12,56 b	25,71 a	28,99 a	28,34 a
UFSMFW 4-10	156,45 b	15,11 a	27,20 a	29,22 a	29,55 a
RB 855156	158,78 b	13,56 b	21,77 b	26,81 b	25,70 b
RB 925345	146,11 b	14,34 a	19,99 b	22,80 c	22,90 b
IAC87-3396	144,33 b	16,89 a	22,98 b	26,47 a	24,98 b

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si segundo teste de agrupamento de médias de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro.

Observando a Tabela 3 para as características relacionadas ao teor de açúcar do colmo, GBB e GBM, os genótipos UFSMFW 4-07, UFSMFW 4-08, UFSMFW 4-09 e UFSMFW 4-10 apresentaram as maiores médias, onde ainda para a primeira variável esses genótipos foram superiores ao progenitor IAC87-3396 e, em ambas, não diferiram da testemunha RB

925345. Na planta de cana-de-açúcar é comum visualizar diferença de graus brix se medido em locais diferentes do colmo, visto que esta apresenta a maturação de sacarose da base para o ápice do colmo (LAVANHOLI, 2008). Assim, a base e meio do colmo apresentam uma maior concentração de sacarose (AZZINI et al., 1986).

Tabela 3 - Continuação do teste de medias considerando as características graus brix da base, meio e ápice (GBB, GBM, GBA), massa dos colmos (MDC), massa do bagaço (MDB), graus brix do caldo (GBC) e rendimento do caldo (RDC), Frederico Westphalen, 2020.

Genótipo	GBB	GBM	GBA	MDC	MDB	RDC
				Kg ha <sup>-1</sup>	Kg ha <sup>-1</sup>	L ha <sup>-1</sup>
UFSMFW 4-01	17,89 b	17,17 b	7,22 c	127.798,85 a	67.262,56 a	60.707,01 a
UFSMFW 4-02	18,81 b	17,19 b	8,13 c	99.212,02 b	50.363,59 b	44.454,50 b
UFSMFW 4-03	18,07 b	16,81 b	9,11 c	105.131,21 b	52.838,33 b	48.181,77 b
UFSMFW 4-04	17,31 b	16,86 b	12,31 b	94.575,66 c	47.151,47 b	40.656,53 c
UFSMFW 4-05	18,89 b	17,43 b	10,95 c	109.162,51 b	52.575,71 b	49.898,94 b
UFSMFW 4-06	17,45 b	16,17 b	9,06 c	91.050,41 c	48.302,98 b	37.787,84 c
UFSMFW 4-07	20,39 a	19,19 a	15,56 a	100.121,11 b	50.050,46 b	46.919,15 b
UFSMFW 4-08	19,89 a	18,76 a	15,11 a	104.111,01 b	52.111,06 b	47.535,31 b
UFSMFW 4-09	20,50 a	18,61 a	12,67 b	120.434,22 a	58.414,08 a	54.656,51 a
UFSMFW 4-10	20,69 a	18,84 a	13,00 b	93.757,48 c	46.646,42 b	45.333,29 b
RB 855156	18,89 b	17,33 b	11,78 b	77.989,82 c	39.292,89 c	34.545,42 c
RB 925345	19,67 a	19,22 a	16,50 a	66.343,37 c	31.131,28 c	25.404,02 d
IAC87-3396	18,89 b	18,30 a	6,81 c	84.262,54 c	39.525,21 c	33.666,63 d

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si segundo teste de agrupamento de médias de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro.

Para a característica GBA, os genótipos UFSMFW 4-07, UFSMFW 4-08 e a testemunha R925345 apresentaram as maiores médias, mostrando maior potencial de acúmulo de sacarose no ápice do colmo onde por característica da espécie encontra-se menor concentração de sacarose e maior quantidade de água (TEODORO, 2019). Os valores de graus brix da base, terço médio e ápice se diferem ainda mais na última fase do desenvolvimento da cana-de-açúcar, características essas são predominantes devido a fatores que induzem à maturação, onde o ápice da planta é o último a amadurar (MACHADO, 1987).

A avaliação da variável MDC tem grande importância em programas de melhoramento de cana-de-açúcar, uma vez que está altamente correlacionada com o rendimento de caldo, como pode-se observar para na Figura 1. No mesmo sentido, elevando a MDC ocorre uma resposta de aumento da MDB. Portanto, nota-se na Tabela 3 que os genótipos UFSMFW 4-01 e UFSMFW 4-09 apresentam os maiores potenciais de produção de MDC com rendimento de 127.798,85 Kg ha<sup>-1</sup> e 120.434,22 Kg ha<sup>-1</sup> respectivamente, além de um rendimento de MDB de 67.262,56 Kg ha<sup>-1</sup> e 58.414,08 Kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

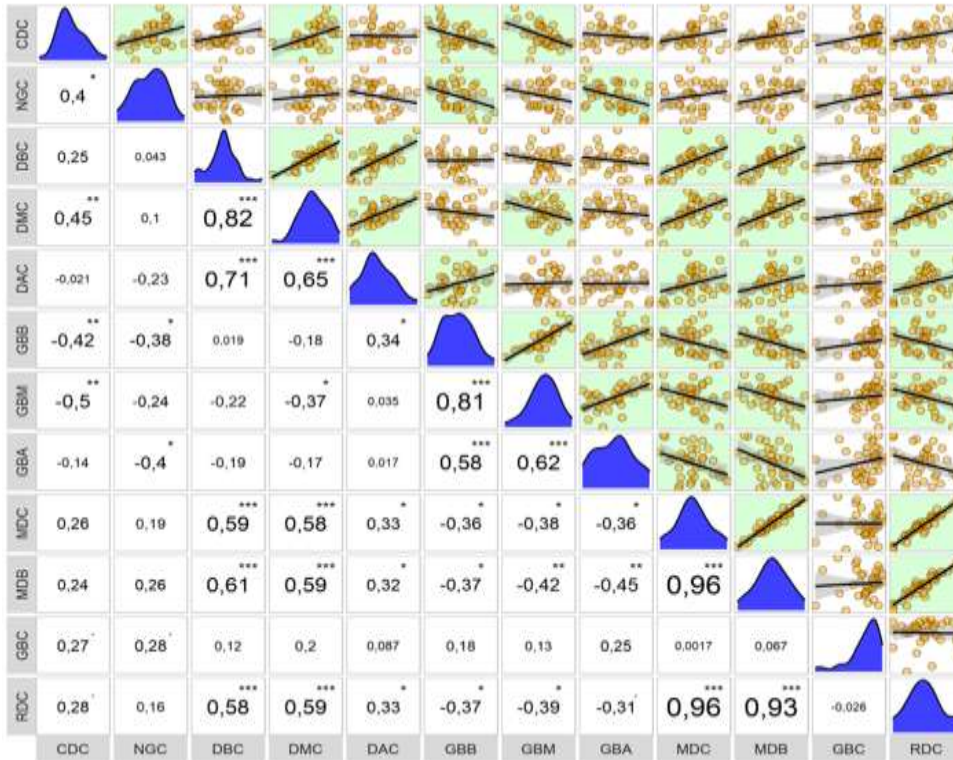
O bagaço é um resíduo do processo de extração do caldo da cana-de-açúcar e as grandes quantidades geradas podem ser um problema para as usinas sucroalcooleiras. Mas, novos destinos para esses resíduos têm sido descobertos, como apontam Ramos e Nachiluk (2017), destacando o uso do bagaço como uma das importantes fontes de energia renovável para a indústria da cana-de-açúcar, onde pode ser utilizado para a produção de eletricidade.

Analisando a variável RDC, novamente as linhagens UFSMFW 4-01 e UFSMFW 4-09 foram superiores, produzindo 60.707,01 e 54.656,51 L ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Apesar do desempenho inferior se comparado com UFSMFW 4-01 e UFSMFW 4-09, as demais linhagens, com exceção da UFSMFW 4-04 e UFSMFW 4-06, apresentaram médias superiores às testemunhas RB 855156, RB 925345 e IAC87-3396, evidenciando o potencial de desenvolvimento de novas cultivares de cana-de-açúcar com elevado rendimento de caldo das linhagens estudadas.

Para se ter uma compreensão mais clara dos resultados obtidos para cada característica, foram determinados os coeficientes de correlação fenotípica entre as características da pesquisa, com o objetivo de verificar as possíveis associações e avaliar o grau dessas associações (Figura 1). O coeficiente de correlação de Pearson varia de -1 a 1, onde 1 significa uma correlação perfeita positiva entre as duas variáveis e -1 significa uma correlação negativa perfeita entre as duas variáveis. De acordo com Dancey et. al. (2006), ao interpretar o valor da correlação, é considerada a correlação fraca entre 0,10 e 0,30, a média entre 0,40 e 0,6 e o valor final de 0,7 a 1,0 como categorias de correlação forte.

As variáveis analisadas referentes ao diâmetro do colmo (DBC, DMC e DAC) foram significativamente correlacionadas, onde na Figura 1 pode se observar a estimativa dos coeficientes de correlação entre estas variáveis foi no sentido positivo e de magnitude alta. Em termos práticos, pode-se afirmar que aumentos no diâmetro da base do colmo são conseqüentemente acompanhados de aumentos do diâmetro no restante do colmo. Analisando a associação dos diâmetros do colmo com a MDC, MDB e RDC, novamente se observou correlações positivas, no entanto com menor magnitude que as anteriores. Espósito (2010) estudando correlação entre caracteres de cana-de-açúcar, verificou correlação fenotípica de grau médio entre o diâmetro médio do colmo e a produção de toneladas de cana por hectare. Ferreira et. al. (2007) também destacam que o diâmetro do colmo é uma variável que contribui com a massa de colmo por hectare. Esses resultados indicam que pode ser interessante a seleção para plantas com maiores diâmetros de colmo, que indiretamente trará aumentos em rendimento, uma vez que está positivamente correlacionada com MDC e RDC.

Figura 1 – Correlação linear de Pearson entre as características comprimento do colmo (CDC), número de gemas por colmo (NGC), diâmetro da base, meio e ápice do colmo (DBC, DMC e DAC), graus brix da base, meio e ápice (GBB, GBM, GBA), massa dos colmos (MDC), massa do bagaço (MDB), graus brix do caldo (GBC) e rendimento do caldo (RDC), Frederico Westphalen, 2020.



\*, \*\* e \*\*\*, significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade de erro.

A maturação da cana-de-açúcar ocorre iniciando na base em direção ao ápice e como consequência, a parte de baixo contém mais açúcar que a parte de cima. Este comportamento foi observado neste estudo. Para as correlações entre os teores de sólidos nas posições do colmo, encontrou-se correlação forte e positiva (0,81) entre GBB e GBM, possivelmente pela maior proximidade entre estas duas regiões do colmo. A magnitude da correlação diminuiu entre GBB e GBA, porém ainda apresenta sentido positivo. Também se esperava que os teores de sólidos de cada posição do colmo estivessem correlacionados com os graus brix do caldo (GBC), o que não se confirmou.

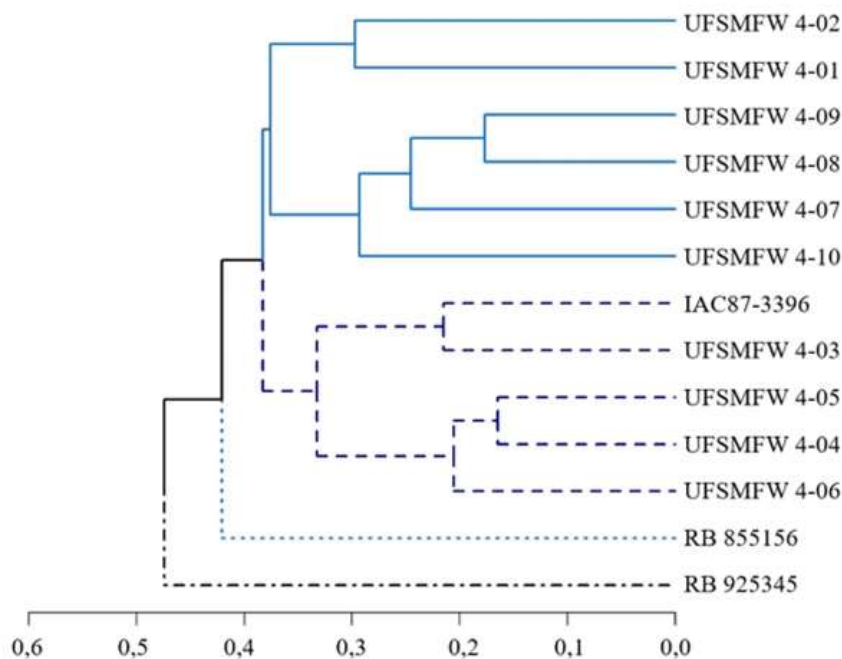
Analisando a variável MDC, encontrou-se correlação forte e positiva (0,96) tanto com as variáveis MDB e RDC. Os genótipos que apresentam colmos mais pesados consequentemente possuem maior rendimento de caldo e de bagaço, o que é importante no melhoramento genético de cana-de-açúcar uma vez que a massa do colmo pode ser mensurada antes mesmo do rendimento do caldo. Nardino et al. (2016) desdobrou correlações lineares em efeitos diretos e indiretos da MDC com diversas características e encontrou que MDB e



RDC apresentaram os maiores efeitos diretos sobre MDC, concluindo que maior RDC e MDB estão vinculados diretamente a maior massa do colmo em cana-de-açúcar.

Os resultados da análise de agrupamento (Figura 2) indicaram a presença de variabilidade entre as populações, chegando à formação de quatro grupos distintos, onde as populações estudadas são similares no grupo e divergentes entre grupos. Os grupos formados foram os seguintes: Grupo 1: UFSMFW 4-01, UFSMFW 4-02, UFSMFW 4-07, UFSMFW 4-08, UFSMFW 4-09, UFSMFW 4-10; Grupo 2: IAC87-3396, UFSMFW 4-03, UFSMFW 4-04, UFSMFW 4-05, UFSMFW 4-06; Grupo 3: RB 855156; Grupo 4: RB 925345 (Figura 2). As linhagens UFSMFW 4-01 e UFSMFW 4-09 que apresentaram bom desempenho em características relacionadas ao rendimento de caldo também ficaram alocadas no mesmo grupo, indicando certa semelhança para os traços quantitativos e qualitativos avaliados. Comparando as linhagens com as testemunhas, observa-se que RB 855156 e RB 925345 formaram grupos isolados e apenas a testemunha IAC87-3396 apresentou traços semelhantes com as linhagens 3, 4, 5 e 6. De modo geral, as linhagens em estudo apresentam características divergentes às testemunhas, o que é importante no desenvolvimento e proteção de novas cultivares.

Figura 2 - Dendrograma de 13 genótipos de cana-de-açúcar pelo método UPGMA baseado na matriz de distância de Gower. Os diferentes tipos de linha representam grupos distintos obtidos através das 9 características quantitativas e seis características nominais. Frederico Westphalen, 2020



## 5 CONCLUSÕES

As linhagens UFSMFW 4-02, UFSMFW 4-04, UFSMFW 4-05 e UFSMFW 4-06 apresentam maior comprimento e diâmetro do colmo, sendo bons indicadores de produtividade. Para as características relacionadas ao teor de açúcares, UFSMFW 4-07, UFSMFW 4-08, UFSMFW 4-09 e UFSMFW 4-10 foram as linhagens superiores e UFSMFW 4-01 e UFSMFW 4-09 se destacaram para massa do colmo e rendimento de caldo.

Entre as correlações, destaca-se que a massa do colmo que está fortemente correlacionada com o rendimento do caldo e o diâmetro do colmo que está positivamente correlacionado com a massa do colmo, indicando que a seleção indireta para diâmetro e massa do colmo é importante na busca genótipos com maior potencial de rendimento de caldo, principalmente pelo fato destas características serem mensuradas antes mesmo do rendimento.

A análise de agrupamento evidenciou a presença de variabilidade genética para as características quantitativas e qualitativas, uma vez que a maioria das linhagens geradas compuseram grupos diferentes das testemunhas que foram induzidas à mutação. É importante que as linhagens sejam diferentes e superiores aos genitores quando o objetivo é se desenvolver novas cultivares de cana-de-açúcar.

## 6 REFERÊNCIAS

ALVARES, A. C. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Acesso em: 20 jul. 2021.

ANTUNES, W. R. et al. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de clones de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 2, p. 142-148, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2016000200006>. Acesso em: 20 jul. 2021.

AUDE, M. I. da S. Estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar e suas relações com a produtividade. **Ciência Rural**, v. 23, n. 2, p. 241-248, 1993. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/FPRy8vW7pSYcpQFB934qn8F/?lang=pt>. Acesso em: 20 jul. 2021.

AZZINI, A. et al. Densidade básica do colmo e sua correlação com os valores de brix e pol em cana-de-açúcar. **Bragantia**, v. 45, n. 1, p. 155-160, 1986. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/JqSfvMTxB8yJftWwxgpXnTK/?lang=pt>. Acesso em: 20 jul. 2021.

BENIN, G. et al. Estimativas de correlações e coeficientes de trilha como critérios de seleção para rendimento de grãos em aveia. **R. bras. Agrociência**, v. 9, n. 1, p. 09-16, 2003. Disponível em: <http://www2.ufpel.edu.br/faem/agrociencia/v9n1/artigo02.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2021.

BERTAN, I. et al. Variabilidade genética em trigo aferida por meio da distância genealógica e morfológica. **Scientia Agraria**, v. 8, p. 67- 74, 2007. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/agraria/article/view/8344>. Acesso em: 20 jul. 2021.

BEZERRA, J. D. C. et al. Cana-de-açúcar: melhoramento genético e suas finalidades forrageiras. **Nucleus Animalium**, v. 10, n. 2, p. 131-147, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3738/21751463.3518>. Acesso em: 20 jul. 2021.

CABODEVILA, V. G. et al. A multivariate approach to explore the genetic variability in the F2 segregating population of a tomato second cycle hybrid. **BAG - Journal of Basic and Applied Genetics**, v. 28, p. 7-17, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-3921.pab2019.v54.00064>. Acesso em: 20 jul. 2021.

CARVALHO, M. M. et al. Importância econômica e generalidades para o controle de *Telchin licus* Drury, 1773 (Lepidoptera: Castniidae) em cana-de-açúcar. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 7, p. 1623-1637, 2013a. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/3148>. Acesso em: 20 jul. 2021.

CARVALHO, L. C. et al. Cana-de-açúcar e álcool combustível: histórico, sustentabilidade e segurança energética. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 16, p. 530-543, 2013b. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/3381>. Acesso em: 20 jul. 2021.

CASAGRANDE, A. A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 1991.

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

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Boletim da Safra Brasileira de Cana-de-Açúcar Safra 2020/2021**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>. Acesso em: 04 fev. 2021.

CORREIA, C. B. G. et al. Cana-de-açúcar: parâmetros tecnológicos em função de diferentes lâminas de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada - RBAI**, v. 8, n. 1, p. 26-37, 2014. Disponível em: <https://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/204>. Acesso em: 04 fev. 2021.

CRUZ, C. D. Genes Software – extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum**, v. 38, n. 4, p. 547-552, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asagr/a/sLvDYF5MYv9kWR5MKgxb6sL/?lang=en>. Acesso em: 04 fev. 2021.

CURADO, M.A.S.; TELES, J.; MARÔCO, J. Analysis of variables that are not directly observable: influence on decision-making during the research process. **Revista da Escola de enfermagem da USP**, São Paulo, v. 48, n.1, p. 146-152, 2013. Disponível em: <https://10.1590/S0080-623420140000100019>. Acesso em: 04 fev. 2021.

DANCEY, C.; REIDY, J. **Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows**. Porto Alegre: Artmed, 2006.

DOOREBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Editora Embrapa, 2006.

ESPÓSITO, D. P. **Análise de trilha em dados de produção e tecnológicos da cana-de-açúcar**. Dissertação (Mestrado em Estatística Aplicada e Biometria) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2010. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/4030>. Acesso em: 02 ago. 2021.

FERREIRA, F. M. et al. Relações fenotípicas e genotípicas entre componentes de produção em cana-de-açúcar. **Bragantia**, v. 66, p. 605-610, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/vwTQpJJngKTMwXgQBJVxPmk/?lang=pt>. Acesso em: 02 ago. 2021.

FOLLMANN, D. N. et al. Agronomic performance and genetic dissimilarity of second-harvest soybean cultivars using REML/BLUP and Gower s algorithm. **Bragantia**, p. 1-11, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20180194>. Acesso em: 02 ago. 2021.

GILES, J. A. D., et al. Divergence and genetic parameters between coffea sp. genotypes based in foliar morpho-anatomical traits. **Scientia Horticulturae**, v. 245, p. 231-236, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.09.038>. Acesso em: 02 ago. 2021.

GOES, T.; MARRA, R.; SILVA, G.S. Setor Sucroalcooleiro no Brasil: Situação atual e perspectivas. **Revista de Política Agrícola**, n. 2, 2008. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/202242/1/Setor-sucroalcooleiro-no-Brasil.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2021.

GOWER, J. C. A General Coefficient of Similarity and Some of Its Properties. **Biometrics**, v. 27, n. 4, p. 857-871, 1971. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/2528823>. Acesso em: 15 fev. 2021.

LAVANHOLI, M. G. D. P. Qualidade da cana-de-açúcar como matéria-prima para produção de açúcar e álcool. In: MIRANDA, L. L. D.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. 1. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. p. 697-722.

LUSTIG, R. H.; SCHMIDT, L. A.; BRINDIS, C. D. Public health: the toxic truth about sugar. **Nature**, v. 482, p. 27-29, 2012. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/482027a>. Acesso em: 15 fev. 2021.

MAGRO, F. J. et al. **Biometria em cana-de-açúcar**. Piracicaba: Escola superior de agricultura “Luis de Queiroz”, 2011. Disponível em: [https://disciplinas.usp.br/pluginfile.php/5603968/mod\\_resource/content/1/Biometria%20em%20cana-de-a%C3%A7ucar%20exemplo%20de%20texto%20aluno.pdf](https://disciplinas.usp.br/pluginfile.php/5603968/mod_resource/content/1/Biometria%20em%20cana-de-a%C3%A7ucar%20exemplo%20de%20texto%20aluno.pdf). Acesso em: 15 fev. 2021.

MACHADO, E. C. **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 56-87.

MACHADO, L. A.; HABIB, M. **Perspectivas e impactos da cultura de cana-de-açúcar no Brasil**. Artigo em Hypertexto, 2009. Disponível em: [http://www.infobibos.com/Artigos/2009\\_2/Cana/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2009_2/Cana/index.htm). Acesso em: 08 set. 2020.

MENEGUETTI, C. C.; MEZAROBA, S.; GROFF, N. M. Fatores relacionados ao cultivo da cana-de-açúcar. In: ENCONTRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO AGROINDUSTRIAL, **Anais [...]**, 9, Campo Mourão, 2017. Disponível em: <http://atividaderural.com.br/artigos/56019d9740759.pdf>. Acesso em: 08 set. 2020.

MIRAJKAR, S. J. et al. TRAP and SRAP molecular marker based profiling of radiation induced mutants of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). **Plant Gene**, v. 9, p. 64-70, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plgene.2017.01.002>. Acesso em: 08 set. 2020.

MIRANDA, L. L. D. Viveiro de mudas. In: MIRANDA, L. L. D.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. 1. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. p. 535-546.

MOZAMBANI, A. E. et al. História e morfologia da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. de S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. de (Eds.). **Atualização em Produção de Cana-de-Açúcar**. Piracicaba: USP, 2006. p. 11-18.

MORAIS, K. P. et al. Produtividade de colmos em clones de cana-de-açúcar. **Revista Ceres**, v. 64, n. 3, p. 291-297, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737x201764030010>. Acesso em: 08 set. 2020.

NARDINO, M. et al. Associações entre caracteres de genótipos mutantes de cana-de-açúcar. **Scientia Plena**, v. 12, n. 7, p. 1-7, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14808/sci.plena.2016.091001>. Acesso em: 08 set. 2020.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 14. ed. Piracicaba: Degaspari, 2000.

RAMME, F. L. P.; LAMPARELLI, R. A. C.; ROCHA, J. V. Perfis temporais NDVI MODIS, na cana-soca, de maturação tardia. **Eng. Agríc., Jaboticabal**, v. 30, n. 3, p. 480-494, jun. 2010. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-69162010000300012&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162010000300012&lng=pt&nrm=iso). Acesso em: 02 out. 2020.

RAMOS, R. C.; NACHILUK, K. Geração de Bioenergia de Biomassa da Cana-de-açúcar nas Usinas Signatárias ao Protocolo Agroambiental Paulista, Safra 2015/2016. **Análise e Indicadores do Agronegócio**, v. 12, p. 1-5, 2017. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/biogas/2017/04/12/geracao-de-bioenergia-de-biomassa-da-cana-de-acucar-nas-usinas-signatarias-ao-protocolo-agroambiental-paulista-safra-20152016/>. Acesso em: 02 out. 2020.

REIS, E. A.; REIS, I. A. **Análise Descritiva de Dados: Tabelas e Gráficos**. Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Relatório Técnico. 2001. Disponível em: <http://www.est.ufmg.br/portal/arquivos/rts/rte0104.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2021.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computin, 2016.

ROCHA, M. C. et al. Uso do algoritmo de Gower na determinação da divergência genética entre acessos de tomateiro do grupo cereja. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 3, p. 423-431, 2010. Disponível: <https://www.scielo.br/j/asagr/a/TsjgG9tcgpmGYp6j6xST7d/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 16 fev. 2021.

SILVA, M. J. et al. Evaluation of the potential of lines and hybrids of biomass sorghum. **Industrial Crops and Products**, v. 125, p. 379-385, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.08.022>. Acesso em: 16 fev. 2021.

SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M.; MOZAMBANI, A. E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. de S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. de (Eds.). **Atualização em Produção de Cana-de-Açúcar**. Piracicaba: USP, 2006. p. 19–38.

SOARES, P. A.; ROSSELL, C. E. V. **O setor Sucroalcooleiro e o domínio tecnológico**. São Paulo, SP: NAIPE/USP, 2008. Disponível em: [https://www.novacana.com/pdf/estudos/Livro\\_Naippe\\_Vol2.pdf](https://www.novacana.com/pdf/estudos/Livro_Naippe_Vol2.pdf). Acesso em: 15 fev. 2021.

SUZUKI, R.; H. SHIMODAIRA. Pvcust: an R package for assessing the uncertainty in hierarchical clustering. **Bioinformatics**, v. 22, n. 12, p. 1540-1542, 2006. Disponível: <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btl117>. Acesso em: 15 fev. 2021.

TEODORO, P. G. **Despontes na produtividade e qualidade de sacarose da cana-de-açúcar**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Norte do Paraná, Campus Luiz Meneghel, Bandeirantes – PR, 2018. Disponível em:

<https://uenp.edu.br/dissertacao-agronomia/12332-priscila-gualberto-teodoro/file>. Acesso em: 15 fev. 2021.

THOMAS, A. L. **Desenvolvimento das plantas de batata, mandioca, fumo e cana-de-açúcar** [recurso eletrônico]. Porto Alegre: UFRGS, 2016. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/147567>. Acesso em: 15 fev. 2021.

TORRES, F. E., et al. Estimativa da divergência entre ecótipos de braquiária baseada em descritores quantitativos e qualitativos. **Ciência Rural**, v. 45, p. 485-491, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20140537>. Acesso em: 15 fev. 2021.

TUTA, N. F. et al. **Desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar no ciclo da cana-planta com aplicação de efluente de esgoto tratado via gotejamento subsuperficial**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2013. Disponível em: [http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/CAMP\\_3c72f58448627712eee0c3b9b38aea90](http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/CAMP_3c72f58448627712eee0c3b9b38aea90). Acesso em: 15 fev. 2021.

VARELLA, C. A. A.; BARROS, V. R.; BAESSO, M. M. Nota técnica: mapeamento da variabilidade espacial do brix em cana-de-açúcar. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 20, n. 2, p. 112-117, 2012. Disponível: <https://doi.org/10.13083/reveng.v20i2.246>. Acesso em: 15 fev. 2021.

VERISSIMO, M. A. A. et al. Genetic parameters and performance of sugarcane families under cold stress in the South of Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, p. 583-592, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2018000500007>. Acesso em: 15 fev. 2021.

VILELA, F. O. et al. Effect of recurrent selection on the genetic variability of the UNB-2U popcorn population using RAPD markers. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, n. 1, p. 25-30, 2008. Disponível: <https://www.scielo.br/j/asagr/a/M9yTVvmrZMSystLKhH4q6RJ/?lang=en>. Acesso em: 15 fev. 2021.

ZUANAZZI, J. A. S.; MAYORGA, P. Fitoprodutos e desenvolvimento econômico. **Química Nova**, v. 33, n. 6, p. 1421-1428, 2010. Disponível em: [http://quimicanova.sbq.org.br/detalhe\\_artigo.asp?id=5206](http://quimicanova.sbq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=5206). Acesso em: 15 fev. 2021.

SHIMAKURA, S. **Tipos de variáveis**. Disponível: <http://leg.ufpr.br/~shimakur/CE055/node8.html#:~:text=Podem%20ser%20nominais%20ou%20ordinais,uma%20ordena%C3%A7%C3%A3o%20entre%20as%20categorias>. Acesso em: 15 fev. 2021.

MORAIS, L. K. de. et al. **Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar**. Documentos. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/142119/1/Doc-200.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2021.