

LIDIANE APARECIDA SILVA

**ESTRATÉGIAS DE SELEÇÃO BASEADA EM CARACTERES QUÍMICOS E
TECNOLÓGICOS VISANDO A INDICAÇÃO DE GENITORES PARA
PRODUÇÃO DE BIOENERGIA EM CANA-DE-AÇÚCAR**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de Magister Scientiae.

VIÇOSA
MINAS GERAIS-BRASIL
2014

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

S586e
2014
Silva, Lidiane Aparecida, 1986-
Estratégias de seleção baseada em caracteres químicos e tecnológicos visando a indicação de genitores para produção de bioenergia em cana-de-açúcar / Lidiane Aparecida Silva. – Viçosa, MG, 2014.
xiv, 73f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Leonardo Lopes Bhering.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f.62-73.

1. Cana- de- açúcar - Melhoramento genético. 2. Cana-de açúcar - Recursos de germoplasma. 3. Genética vegetal. 4. Biocombustível. 5. Etanol. 6. Energia - Fontes alternativas. 7. Biometria. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Biologia Geral. Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento. II. Título.

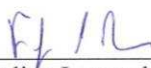
CDD 22. ed. 633.61

LIDIANE APARECIDA SILVA

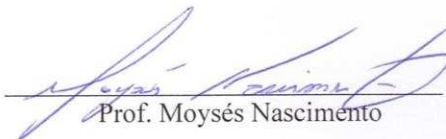
**ESTRATÉGIAS DE SELEÇÃO BASEADA EM CARACTERES QUÍMICOS E
TECNOLÓGICOS VISANDO A INDICAÇÃO DE GENITORES PARA
PRODUÇÃO DE BIOENERGIA EM CANA-DE-AÇÚCAR**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 25 de julho de 2014.



Prof. Felipe Lopes da Silva



Prof. Moysés Nascimento



Prof. Leonardo Lopes Bhering
(Orientador)

À minha família pelo exemplo de amor, união e respeito!!!
Principalmente aos meus pais Sebastião Pacheco da Silva e
Maria Aparecida Silvestre Pacheco

“Tudo é considerado impossível até acontecer!”

Nelson Mandela

"Eis o meu segredo: só se vê bem com o coração. O essencial é invisível aos olhos. Os homens esqueceram essa verdade, mas tu não a deves esquecer. Tu te tornas eternamente responsável por aquilo que cativas."

Antoine de Saint-Exupéry

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por iluminar meus passos me fortalecendo diante às dificuldades! “Direi do Senhor: Ele é o meu Deus, o meu refúgio, a minha fortaleza, e nele confiarei.” Salmo 91:2.

Aos meus pais, simplesmente pelo amor incondicional! Por acreditarem em meus sonhos oferecendo o incentivo e o apoio necessário para torná-los reais!

Aos meus irmãos, Flávio e Pablo, por serem meus melhores amigos, por toda a confiança e companheirismo! Que assim seja para toda a vida!

Ao Wallisson, pelo amor, carinho imensurável e apoio constante! Obrigada por estar presente com toda compreensão e paciência nas horas que eu mais preciso!

A toda a minha família! Em especial à minha vovó Maria, pelo grande exemplo de vida e por confortar meu coração com sua bondade e carinho!

Ao Prof. Leonardo Lopes Bhering pela orientação, confiança, amizade, paciência e por estar sempre disposto a dividir seus conhecimentos!

Ao Prof. Márcio Henrique Pereira Barbosa por todo ensinamento e apoio ao longo da minha vida acadêmica!

Ao Prof. Reinaldo Teófilo pela dedicação, ajuda e orientação ao longo deste trabalho, me proporcionando novos aprendizados!

À banca, composta por Felipe Lopes da Silva e Moysés Nascimento, que se prontificaram a ensinar e contribuir com a conclusão do trabalho desenvolvido!

Aos amigos do Laboratório de Biotecnologia e Melhoramento Vegetal e do CECA, em especial ao Volmir, Telma, Camila, Karla, Rachel, Sofia, Cecília e Ítalo, que contribuíram com todo esforço e dedicação, para o sucesso deste trabalho!

Aos amigos do Laboratório de Biometria, pelo companheirismo e pela disposição em ajudar, contribuindo com o excelente espaço de trabalho!

A todos os meus amigos, que perto ou distante, me incentivaram e apoiaram na busca por este título, especialmente a Andrea, Geverson, Paulo, Sara, Isabela, Ítalo, Haroldo, Suzana, Gabriel, Flávio, Luciana, Valquíria, Sabrina e Mariele.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Programa de Pós Graduação em Genética e Melhoramento (PPGGM), pela estrutura para realização do curso e projeto.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudo. Ao apoio financeiro do CNPq, FAPEMIG e FUNARBE para o desenvolvimento deste projeto.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho meus sinceros agradecimentos!

BIOGRAFIA

LIDIANE APARECIDA SILVA, filha de Sebastião Pacheco da Silva e Maria Aparecida Silvestre Pacheco, nasceu na cidade de Patos de Minas, estado de Minas Gerais, em 21 de outubro de 1986.

Iniciou o curso de graduação em Agronomia em 2007 pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG, recebendo o título de Engenheira Agrônoma em janeiro de 2012. No mesmo ano, no mês de agosto, iniciou o curso de pós-graduação em nível de Mestrado em Genética e Melhoramento, na mesma instituição, submetendo-se à defesa de dissertação em 25 de Julho de 2014.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	x
RESUMO	xi
ABSTRACT.....	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1. A CANA-DE-AÇÚCAR.....	2
2.2. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA CANA-DE-AÇÚCAR	5
2.3. O CALDO DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	6
2.4. O BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR	7
2.4.1. Celulose	8
2.4.2. Hemicelulose	10
2.4.3. Lignina.....	11
2.4.4. Cinzas	13
2.5. A MATRIZ ENERGÉTICA NACIONAL	14
2.5.1. Bioetanol	16
2.5.2. Bioeletricidade	19
2.6. MELHORAMENTO GENÉTICO DA CANA-DE-AÇÚCAR	21
3. MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1. O BANCO DE GERMOPLASMA	23
3.2. PREPARO DAS AMOSTRAS.....	26
3.3. ANÁLISES TECNOLÓGICAS DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	26
3.3.1. Determinação do Brix no Caldo (BRIX)	26
3.3.2. Determinação da Matéria Seca (MS).....	27
3.3.3. Determinação da Fibra na Cana-de-Açúcar (FB).....	27
3.3.4. Determinação da Pol no Caldo (POL)	27
3.3.5. Determinação da pol na Cana-de-Açúcar (PCC).....	28
3.3.6. Determinação da Pureza no caldo (PRZ)	28

3.3.7. Açúcares Totais Recuperáveis (ATR).....	28
3.4. ANÁLISE ENZIMÁTICA DE AÇÚCARES NO CALDO	29
3.5. ANÁLISES DA COMPOSIÇÃO DA PAREDE CELULAR	30
3.5.1. Preparo das Amostras	30
3.5.2. Determinação de Lignina (LIG).....	30
3.5.3. Determinação da Celulose e Hemicelulose (CEL e HEM).....	31
3.5.3.1. Análise Gravimétrica da Celulose e Hemicelulose	31
3.5.3.2. Análise espectrométrica no NIR.....	32
3.5.3.3. Construção do modelo de calibração	32
3.5.4. Determinação das Cinzas (C)	32
3.6. ANÁLISE DA CRISTALINIDADE (CRL)	33
3.7. ANÁLISES ESTATÍSTICAS	34
3.7. 1. Relação entre caracteres.....	34
3.7. 2. Análises de diversidade genética	35
3.7. 3. Seleção.....	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
4.1. ESTATÍSTICA DESCRITIVA	37
4.2. RELAÇÃO ENTRE CARACTERES	39
4.2.1. Correlações Simples e Parciais	39
4.2.2. Análise de trilha	39
4.3. DIVERSIDADE GENÉTICA	49
4.3.1 Análises de Agrupamento.....	52
4.3.2 Análise por Componentes Principais	56
4.4. SELEÇÃO SIMULTÂNEA DE CARACTERES	57
4.5. CRUZAMENTOS ENTRE GENITORES POTENCIAIS	59
5. CONCLUSÕES.....	61
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: POSIÇÃO DO BRASIL NO RANKING MUNDIAL DE PRODUÇÃO E EXPORTAÇÃO AGRÍCOLA.....	4
TABELA 2: COMPARAÇÃO ENTRE A PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DA CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL E DO MILHO NOS ESTADOS UNIDOS.....	17
TABELA 3: PARTICIPAÇÃO NO MERCADO NACIONAL DAS VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR DESENVOLVIDAS PELAS PRINCIPAIS ORGANIZAÇÕES BRASILEIRAS.	23
TABELA 4: NÚMERO DA AMOSTRA PARA 90 GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR QUE CONSTITUEM O BANCO DE GERMOPLASMA ESTUDADO E SUAS RESPECTIVAS ORIGENS.....	24
TABELA 5: ESTATÍSTICA DESCRITIVA DE 90 GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR AVALIADOS PARA 15 CARACTERES QUÍMICOS E TECNOLÓGICOS. VIÇOSA-MG, 2014.....	38
TABELA 6: COEFICIENTES DE CORRELAÇÕES SIMPLES E PARCIAIS ENTRE 15 CARACTERES QUÍMICOS E TECNOLÓGICOS, AVALIADOS EM 90 GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR. VIÇOSA-MG, 2014.	41
TABELA 7: ANÁLISE DE TRILHA FENOTÍPICA DOS COMPONENTES QUÍMICOS E TECNOLÓGICOS DA CANA-DE-AÇÚCAR: GLICOSE (GLI), FRUTOSE (FRU), SACAROSE (SAC), SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS (BRIX), PUREZA (PRZ), FIBRA (FB), LIGNINA (LIG), CELULOSE (CEL), HEMICELULOSE (HEM), CINZAS (C) E CRISTALINIDADE (CRL) SOBRE A VARIÁVEL PRINCIPAL MATÉRIA SECA (MS). VIÇOSA-MG, 2014.....	46
TABELA 8: DEZ GENÓTIPOS MAIS E MENOS SIMILARES OBTIDOS A PARTIR DA MATRIZ DE DISTÂNCIA EUCLIDIANA MÉDIA PADRONIZADA PARA 90	

GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR, AVALIADOS COM BASE EM 15 CARACTERES QUÍMICOS E TECNOLÓGICOS. VIÇOSA-MG, 2014.....	49
TABELA 9: FORMAÇÃO DOS GRUPOS DE DISSIMILARIDADE PELO MÉTODO DE OTIMIZAÇÃO DE TOCHER A PARTIR DAS DISTÂNCIAS EUCLIDIANAS MÉDIAS PADRONIZADAS ESTIMADAS PARA 90 GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR, AVALIADOS PARA 15 CARACTERES QUÍMICOS E TECNOLÓGICOS. VIÇOSA-MG, 2014.....	53
TABELA 10: IMPORTÂNCIA RELATIVA DE 15 CARACTERES QUÍMICOS E TECNOLÓGICOS PARA ESTUDO DA DIVERSIDADE GENÉTICA ENTRE 90 GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR, AVALIADA PELO MÉTODO DE COMPONENTES PRINCIPAIS. VIÇOSA-MG, 2014.....	57
TABELA 11: CLASSIFICAÇÃO DOS 10 GENÓTIPOS MAIS PROMISSORES COM BASE EM CARACTERES QUÍMICOS E TECNOLÓGICOS PARA PRODUÇÃO DE BIOELETRICIDADE E/OU ETANOL CELULÓSICO. VIÇOSA-MG, 2014.....	58
TABELA 12: CRUZAMENTOS PROMISSORES PARA OBTENÇÃO DE PROGÊNIES EFICIENTES NA PRODUÇÃO DE BIOELETRICIDADE OU ETANOL CELULÓSICO, COM BASE NA CLASSIFICAÇÃO A PARTIR DO ÍNDICE DE SELEÇÃO E NA DISTÂNCIA GENÉTICA ENTRE OS GENÓTIPOS SELECIONADOS. VIÇOSA-MG, 2014.....	60

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: MAPA COM A LOCALIZAÇÃO DOS PRINCIPAIS CENTROS PRODUTIVOS DO SETOR SUCROENERGÉTICO NO BRASIL.....	4
FIGURA 2: COMPOSIÇÃO QUÍMICA E TECNOLÓGICA DOS COMPONENTES DA CANA-DE-AÇÚCAR.	6
FIGURA 3: ESTRUTURA DA BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	8
FIGURA 4: ESTRUTURA QUÍMICA PARCIAL DA CELULOSE.....	9
FIGURA 5: LIGAÇÕES DE HIDROGÊNIO INTRA E INTERMOLECULAR NA MOLÉCULA DE CELULOSE.	10
FIGURA 6: REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA MOLÉCULA DE HEMICELULOSE.	10
FIGURA 7: PRECUSORES PRIMÁRIOS DAS LIGNINAS: ÁLCOOL P-CUMARÍLICO (A), ÁLCOOL CONIFERÍLICO (B) E ÁLCOOL SINAPÍLICO (C).....	12
FIGURA 8: MODELO ESQUEMÁTICO DA ESTRUTURA QUÍMICA DA LIGNINA PROPOSTO POR FENGEL E WEGENER, 1983.....	13
FIGURA 9: GRÁFICO DA PARTICIPAÇÃO DE RENOVÁVEIS NA MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL.....	15
FIGURA 10: CONSUMO DE ENERGIA POR FONTE NO BRASIL EM 2013.....	16
FIGURA 11: OFERTA DE BIOELETRICIDADE A PARTIR DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR PARA O SISTEMA INTERLIGADO NO BRASIL.	20
FIGURA 12: FORMAÇÃO DOS GRUPOS DE DISSIMILARIDADE PELO MÉTODO AGLOMERATIVO HIERÁRQUICO, UPGMA, A PARTIR DAS DISTÂNCIAS EUCLIDIANAS MÉDIAS PADRONIZADAS ESTIMADAS PARA AS 90 GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR, AVALIADOS PARA 15 CARACTERES QUÍMICOS E TECNOLÓGICOS. VIÇOSA-MG, 2014.	55

RESUMO

SILVA, Lidiane Aparecida, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, Julho de 2014. **Estratégias de seleção baseada em caracteres químicos e tecnológicos visando a indicação de genitores para produção de bioenergia em cana-de-açúcar.** Orientador: Leonardo Lopes Bhering. Co-orientadores: Márcio Henrique Pereira Barbosa e Cosme Damião Cruz.

A busca por fontes alternativas de energia, devido aos prejuízos ambientais ocasionados pelos gases de efeito estufa e ao esgotamento das reservas de petróleo de fácil extração, resultou numa nova fase de crescimento da agroindústria canavieira nacional. Além do caldo da cana para produção de açúcar e etanol, do processo de industrialização obtém-se a biomassa, um material lignocelulósico, com elevado conteúdo energético, que pode ser convertido em biocombustíveis. É indispensável à caracterização de genótipos de bancos de germoplasmas, que constituem excelente variabilidade genética e podem ser utilizados como genitores potenciais nos programas de melhoramento. Reconhecida esta importância, o presente trabalho teve como objetivo o estudo da diversidade genética de um banco de germoplasma de cana-de-açúcar visando à seleção de genitores potenciais para produção de bioenergia. Noventa genótipos semeados em parcelas simples e sem repetições, foram caracterizados quanto suas constituições químicas e tecnológicas. A estatística descritiva possibilitou a verificação da existência de variabilidade entre os genótipos avaliados. As relações entre os caracteres foram estimadas a partir das análises de correlações simples e parciais e pela análise de trilha que teve como variável principal a matéria seca (MS). Para o estudo da diversidade genética foram realizadas análises multivariadas. A partir da matriz de distância euclidiana média padronizada foi aplicado técnicas de agrupamento pelo método de otimização de Tocher e pelo método aglomerativo hierárquico com base na ligação média entre grupos (UPGMA). Procedeu-se com a análise por componentes principais a fim de complementar as análises de agrupamentos. A seleção simultânea de caracteres, com o índice proposto por Mulamba e Mock (1978), possibilitou selecionar genótipos para diferentes finalidades. Foi possível observar alta amplitude de variação entre os genótipos para os caracteres avaliados, excetuado a celulose. Apesar das baixas correlações encontradas para maior parte das variáveis, foi possível obter resposta correlacionada entre os caracteres desejados para seleção, destacando-se a variável sólidos solúveis totais (BRIX), que é uma característica de fácil medição e pode ser considerada a principal característica para ser utilizada na seleção indireta de caracteres correlacionados. A análise de trilha não é a mais indicada para verificar as relações diretas e indiretas entre os caracteres

estudados sobre a variável principal matéria seca (MS), pois apresentou baixo valor de coeficiente de determinação ($R^2 = 0,29$) e alto efeito da variável residual (0,84). Os métodos de agrupamento reuniram os 90 genótipos, de forma similar, em oito grupos distintos. A técnica de componentes principais não foi satisfatória, pois foram necessários 8 componentes para explicar 83,3 % da variação, porém foi eficiente para identificar que a variável mais importante para a diversidade genética foi os açúcares totais (AT) e a que menos contribuiu foi a matéria seca (MS). Com a seleção simultânea de caracteres classificou-se os dez genótipos mais promissores para qualidade do caldo e para aproveitamento do bagaço para produção de bioeletricidade e /ou etanol celulósico. A partir dos genótipos selecionados e da similaridade entre eles, foi possível indicar cruzamentos entre genitores potenciais, com alta qualidade para produção de açúcar e etanol, bem como uma biomassa vegetal interessante para produção de bioenergia, destacando-se 18 cruzamentos para produção de bioeletricidade, 14 para etanol celulósico e 6 para ambas as finalidades.

ABSTRACT

SILVA, Lidiane Aparecida, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, July 2014. **Selection strategies based on technological and chemical characters aimed at selecting parents for bioenergy production in sugar cane.** Adviser: Leonardo Lopes Bhering. Co-advisers: Márcio Henrique Pereira Barbosa and Cosme Damião Cruz.

The search for alternative sources of energy, due to the environmental damage caused by greenhouse gases and the depletion of oil easy to extract, resulted in a new phase of growth of the national sugarcane agribusiness. Apart from sugar cane juice to produce sugar and ethanol, the industrialization process obtains the biomass, a lignocellulosic material with high energy content, which can be converted into biofuels. It is essential the characterization of germplasm banks, which consist in great genetic variability and can be used as potential parents in breeding programs. Recognized this importance, the present work aimed to study the genetic diversity of a germplasm bank of cane sugar for selection of potential parents for bioenergy production. Ninety genotypes sown in simple installments and without repetitions were characterized for their chemical and technological constitutions. The descriptive analysis enabled the determination of variability among accessions. The relationships between the variables were estimated from analyzes of simple and partial correlations and the path analysis with the dry matter (MS) as the main variable. To study the genetic divergence, multivariate analyzes were performed. From the Euclidean distance matrix standardized mean, techniques clustering were applied by Tocher optimization method and the hierarchical agglomerative method based on the average linkage between groups (UPGMA). We proceeded with the principal component analysis in order to complement the analysis of clustering. The simultaneous selection of characters, from the index proposed by Mulamba and Mock (1978), allowed the classification of genotypes for different purposes. It was possible to observe amplitude variation high among accessions for all the variables, excepted cellulose. Despite the low correlations for most variables, it was possible to obtain correlated response to selection of the desired characters, highlighting the variable total soluble solids (BRIX), a feature that is easy to measure and can be regarded as the main feature for be used for indirect selection of correlated characters. Path analysis is not the most appropriate to verify the direct and indirect relationships between the variables studied on the main variable (dry matter), because it showed low value of coefficient of determination ($R^2= 0.29$) and high residual effect of the variable (0.84). The clustering methods gathered 90 genotypes, similarly, for eight distinct groups. The principal components , was not satisfactory, since 8 components were

needed to explain 83.3% of the variation, however was good to identify the most important for genetic diversity variable was the total sugars (AT) and contributed the least was the dry matter (MS). With the simultaneous selection of characters were ranked ten most promising access for the sugarcane juice quality and the use of bagasse for the production of bioelectricity and/or cellulosic ethanol. From the selected genotypes and the similarity between them, it was possible to indicate potential crosses between parents with high-quality production of sugar and ethanol, as well as an interesting plant biomass for bioenergy production, highlighting 18 crosses between genotypes for bioelectricity, 14 for cellulosic ethanol and 6 for both purposes.

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é um dos principais produtos agrícolas do Brasil, desde a época da colonização o seu cultivo está ligado à história e ao desenvolvimento do país. No Brasil colônia, foi introduzida no território nacional e cultivada, principalmente, para produção e exportação de açúcar. Com o domínio e desenvolvimento da cadeia produtiva, iniciou-se a crescente produção de etanol carburante. Atualmente esta cultura agrícola ocupa um papel importante na economia mundial, colocando o Brasil em posição de destaque na produção e exportação de açúcar e etanol.

A constante busca por fontes alternativas de energia, para reduzir emissões de CO₂, vem despertando o interesse de vários países do mundo. Os prejuízos ambientais causados pelo aquecimento da atmosfera e o esgotamento das reservas de petróleo de fácil extração, aliado a um desenvolvimento socioeconômico mais intenso, sobretudo nos países em desenvolvimento, têm estimulado a utilização de insumos renováveis, que possam substituir, ao menos parcialmente, os combustíveis de origem fóssil como petróleo, carvão e gás natural (MOTA et al., 2009).

Neste contexto, mudanças institucionais importantes vêm resultando a uma nova fase de crescimento da agroindústria canavieira nacional. Além do caldo da cana que é matéria prima para a produção do açúcar e etanol, do processo de industrialização obtêm-se a biomassa constituída pelo bagaço e palha, apresentando-se como um material altamente energético e promissor para conversão em biocombustíveis, líquidos ou gasosos, através de processos bioquímicos ou termoquímicos (MORAES, 2007).

A produção brasileira de bioeletricidade utiliza essencialmente como insumo o bagaço da cana-de-açúcar, tornando as usinas sucroalcooleiras 98% autossuficientes em suas necessidades energéticas. Devido à imensa escala de produção do setor e sua característica tradicional de suprimento energético, é evidente um grande potencial de produção de excedentes de eletricidade a serem exportados para rede com a adoção de tecnologias de produção mais eficientes (CASTRO e DANTAS, 2008).

Além da utilização da biomassa da cana na cogeração de energia, essa matéria-prima apresenta grande potencial para a obtenção do etanol celulósico. Existe uma tecnologia, de segunda geração, que está sendo aperfeiçoada, para obtenção do etanol a partir destes subprodutos em nível econômico. A expectativa é de que a utilização do bagaço e da palha na produção de etanol por meio do processo de hidrólise seja acrescentada ao sistema de produção (LEE et al., 2008).

Visando atender as novas expectativas tecnológicas para a utilização do bagaço da cana-de-açúcar, como complemento no setor de produção, os recursos genéticos podem ser utilizados de forma potencial. É de grande importância a existência de programas de melhoramento genético da cultura, onde a variação genética é uma condição fundamental, pois é a partir daí que se obtêm novas cultivares agronomicamente superiores, contribuindo com uma matéria prima mais rentável tanto para o caldo, como para o aproveitamento da biomassa que pode ser utilizada para geração de bioenergia no país (FLORENTINO et al., 2008).

Com base no exposto, os objetivos deste trabalho foram à caracterização da diversidade genética do Banco de Germoplasma do Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-Açúcar da Universidade Federal de Viçosa (PMGCA/ UFV/ Ridesa- MG), quanto suas propriedades químicas e tecnológicas, bem como a estimação de correlações entre os caracteres avaliados e a identificação de genótipos potenciais visando indicar cruzamentos entre genótipos com alta qualidade do caldo e biomassa favorável para produção de bioeletricidade e/ou etanol celulósico.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A Cana-de-Açúcar

A cana-de-açúcar provavelmente originária das regiões da Indonésia e Nova Guiné, é uma gramínea, pertencente à classe Monocotyledoneae e ao gênero *Saccharum* L., que é composto pelas espécies *S. officinarum*, *S. spontaneum*, *S. sinense*, *S. barberi*, *S. robustum* e *S. edule*, as quais participam nas constituições genéticas das espécies atuais que são variedades híbridas interespecíficas (ARTSCHWAGER e BRANDES, 1958.; STEVENSON, 1965; BACCHI, 1983; GUPTA et al., 2010).

É caracterizada pela inflorescência do tipo panícula, flor hermafrodita, caule em crescimento cilíndrico composto de nós e entrenós, e folhas alternas, opostas, presas aos nós dos colmos, com lâminas de sílica em suas bordas, e bainha aberta (SILVA et al., 2010a). Por se tratar de uma planta C4 com altas taxas fotossintéticas e alta eficiência de conversão radiante em energia química, o Brasil possui condições edafoclimáticas favoráveis para o seu cultivo (CAPONE, 2011).

A cultura foi introduzida no território nacional na época da colonização, em 1532, impulsionando a formação dos primeiros engenhos açucareiros no país. Num primeiro momento, no Brasil Colônia, o objetivo principal era a exportação dos produtos da cana, mais especificamente o açúcar, para os mercados europeus. Até o

século XX, a espécie *Saccharum officinarum* L. foi responsável por grande parte da matéria-prima mundial, por meio de cultivares como Bourbon e Caiana. Em 1975, diante à crise mundial do petróleo, o governo brasileiro desenvolveu o Programa Nacional do Álcool-PROÁLCOOL, e alavancou a produção e consumo do etanol, como alternativa para a gasolina, possibilitando a expansão da área geográfica das lavouras de cana, bem como a melhoria de sua qualidade (PIETRAFESA e SANTOS, 2014).

Atualmente a produção de cana-de-açúcar se concentra nas regiões Centro-Sul e Nordeste do Brasil, a 2.500km da Amazônia, se destacando como a única cultura agrícola do país a assumir crescimento com “desmatamento zero” em florestas ou qualquer tipo de vegetação nativa, crescendo apenas em áreas já ocupadas pela agricultura e pecuária. Na Figura 1 está representado o mapa que destaca em vermelho as áreas onde se concentram as plantações e usinas produtoras de açúcar, etanol e bioeletricidade, segundo dados oficiais do IBGE, UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas – SP) e do CTC (Centro de Tecnologia Canavieira).

A cana-de-açúcar é uma das principais culturas agrícolas brasileiras e coloca o país em posição relevante na economia mundial, com a produção de açúcar e etanol (Tabela 1). O Brasil não é apenas o maior produtor de cana, é também o primeiro do mundo na produção e exportação de açúcar e exportação de etanol, ocupando a segunda posição no ranking como produtor de etanol (MAPA, 2012).

É reconhecido o potencial energético da cana, pois além do açúcar e do etanol, é possível extrair de sua produção uma ampla variedade de novos produtos, como por exemplo, bioeletricidade, etanol celulósico, bioplásticos, biogás e biohidrocarbonetos. Neste sentido, há uma nova fase de crescimento da agroindústria canavieira nacional, que conquista, cada vez mais, o mercado externo com o uso do biocombustível como alternativa energética. O setor antes chamado de sucroalcooleiro passa a ser conhecido também como sucroenergético, apresentado a cultura como “cana energia”. Desta forma, recentemente, tem aumentado o interesse na biomassa da cana-de-açúcar, para efetivar a produção em larga escala de etanol celulósico e bioeletricidade (SANTINI et al., 2011).

O Brasil, devido ao histórico da cultura no território, é o único país que domina todos os estágios da tecnologia de produção da cana-de-açúcar e apresenta uma cadeia produtiva organizada e com menores custos, o que coloca o país em vantagem no cenário econômico mundial contemporâneo, onde há grandes desafios e oportunidades no que se diz respeito à demanda por energia limpa e renovável.

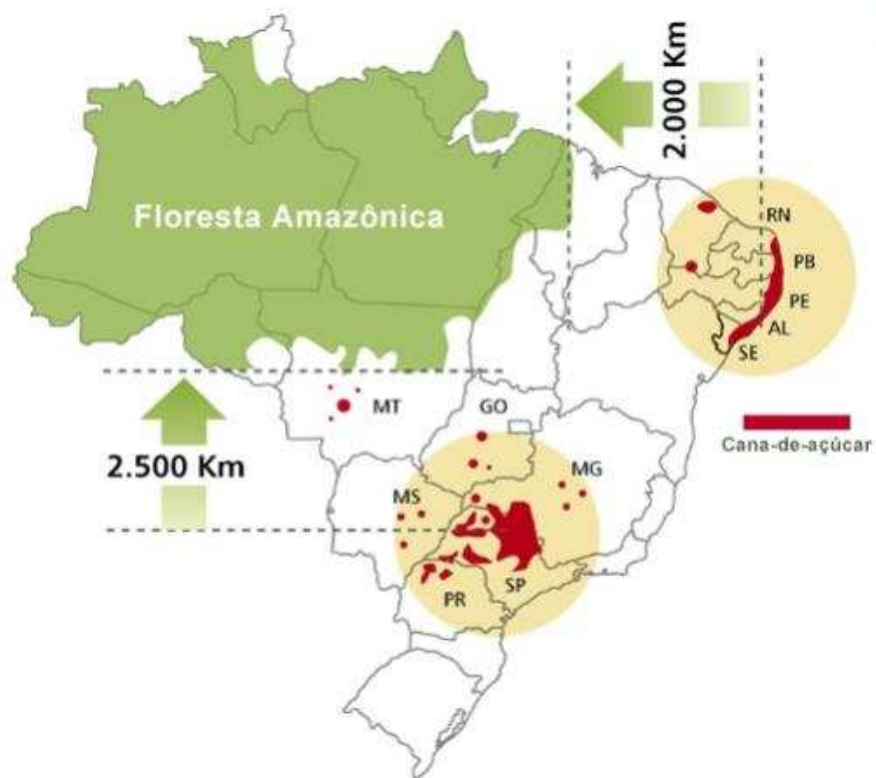


Figura 1. Mapa com a localização dos principais centros produtivos do setor sucroenergético no Brasil.

Fonte: IBGE, CTC e UNICAMP, 2011.

Tabela 1. Posição do Brasil no ranking mundial de produção e exportação agrícola.

Principais Produtos	Produção	Exportação
Açúcar	1°	1°
Café	1°	1°
Suco de Laranja	1°	1°
Complexo Soja	2°	1°
Carne Bovina	2°	1°
Etanol	1°	1°
Carne de frango	3°	1°
Milho	3°	2°
Carne Suína	4°	4°

Fonte: MAPA, 2014.

2.2. Composição Química da Cana-de-açúcar

A matéria-prima da cana-de-açúcar tem demonstrado alta variação quantitativa na composição química, porém qualitativamente ela é semelhante em todos os cultivares. Essa composição é influenciada por fatores relacionados à própria planta como estágio de desenvolvimento da cultura, variedade da cana e também por fatores como manejo agrícola, clima e solo (ANDRADE, 2006).

Os colmos são constituídos basicamente de caldo e sólidos insolúveis em água. Os sólidos insolúveis são representados pela fibra da cana, e o caldo é composto pela água que é a umidade da cana e pelos sólidos solúveis totais, representados pelo Brix que são os açúcares e não açúcares (Figura 2).

O Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo (CONSECANA-SP) estabelece critérios padronizados para as análises dos parâmetros tecnológicos, que visam determinar a qualidade da matéria-prima nos laboratórios de usinas e destilarias (CONSECANA, 2006). Estas análises são realizadas rotineiramente para determinação da fibra (%), brix (%) e umidade (%), que somam, teoricamente, 100 %.

Atualmente a cana-de-açúcar é paga através do Sistema CONSECANA, um sistema inovador desenvolvido pela UNICA (representante das usinas), juntamente com a ORPLANA (representante dos fornecedores). Este sistema não leva em conta somente a quantidade de cana (tonelada cana-de-açúcar por hectare), mas, utiliza como base a qualidade da cana-de-açúcar expressa pela concentração total de açúcares (sacarose, glicose e frutose) recuperáveis no processo industrial que é expressa em quilograma por tonelada de cana. Esse conjunto de açúcares é denominado Açúcar Total Recuperável (ATR) contido em uma tonelada de cana e é determinado com base no teor de açúcares, da fibra e da pureza do caldo (WAACK et al., 1998; BURNQUIST, 1999).

Portanto é evidente a importância da caracterização química da cana de açúcar de forma adequada para obter maiores ganhos em programas de melhoramento genético da cultura, procurando cultivares com maiores potenciais. Desta forma, grandes inovações tecnológicas vêm trazendo métodos mais refinados, com equipamentos de alta precisão, para a determinação química dos componentes dessa matéria prima, possibilitando seu destino para a utilização de forma mais adequada e economicamente viável, aproveitando não apenas o caldo, mas a cana como um todo.

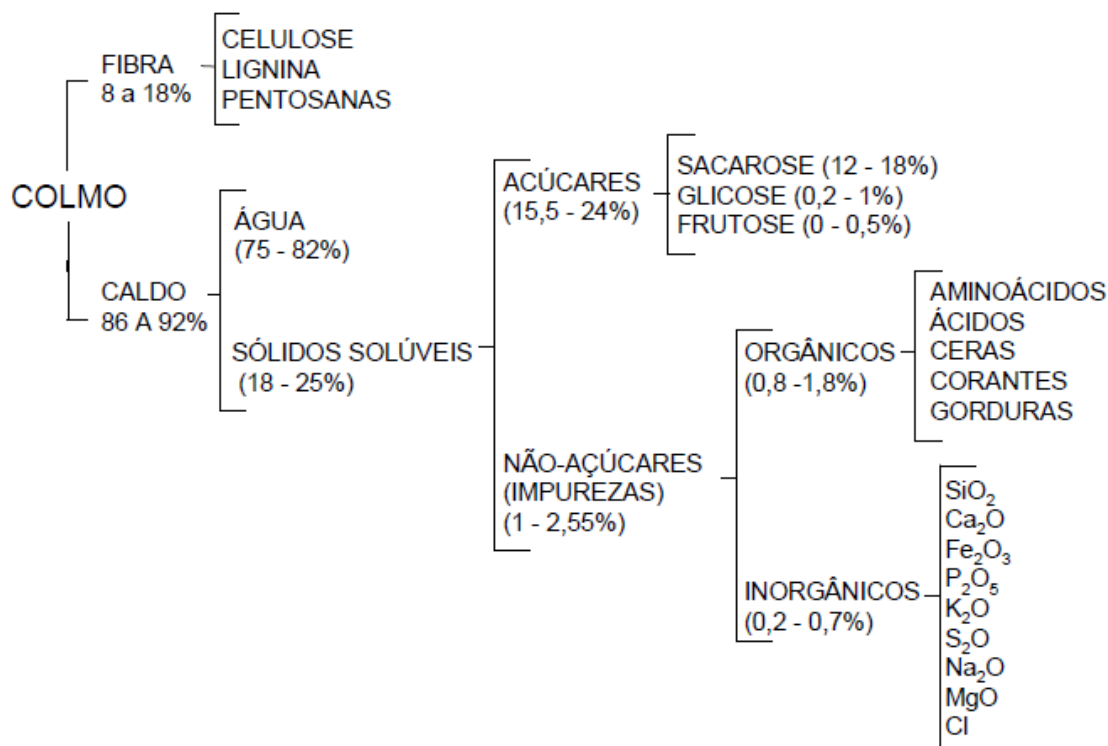


Figura 2. Composição química e tecnológica dos componentes da cana-de-açúcar.

Fonte: Marques et al. (2001).

2.3. O Caldo da Cana-de-Açúcar

O caldo é o produto de maior interesse na cadeia produtiva da cana, principalmente para produção de açúcar e etanol. É composto em maior parte por água e por uma fração de sólidos solúveis, onde se encontram os açúcares (glicose, frutose e sacarose) que são os constituintes de maior importância do caldo. Com a demanda mundial por biocombustíveis rentáveis, elevados teores de sacarose é uma característica altamente desejável para esta matéria-prima.

A composição química do caldo está diretamente relacionada com a época de maturação da cana-de-açúcar, pois esta influência suas características físico-químicas e microbiológicas. O processo de maturação é o momento de acumulação máxima de produtos fotoassimilados nos órgãos de reservas da planta, no caso da cana-de-açúcar, sacarose no colmo. Encontra-se um maior teor de sacarose nos entrenós maduros enquanto os níveis mais baixos de sacarose são observados em entrenós jovens onde os açúcares redutores (glicose e frutose) são predominantes (PAPINI-TERZI et al., 2009).

Os açúcares redutores apresentam a propriedade de reduzir o cobre do estado cúprico a cuproso. Os teores de açúcares redutores no caldo são mais elevados quanto menos madura estiver a cana. Em condições ideais o caldo da cana madura e pronta para

industrialização deve conter cerca de 82% de água e 18% de sólidos solúveis totais (Brix), sendo a glicose $\pm 0,4\%$, frutose $\pm 0,2\%$ e sacarose $\pm 14\%$ (VASCONCELOS, 2010).

Durante o ciclo da cana-de-açúcar evidenciam-se dois períodos distintos com relação à formação da sacarose. O período inicial é marcado por um intenso crescimento vegetativo, acompanhado simultaneamente, por uma gradual formação de sacarose nos internódios adultos. No segundo, ocorre uma predominante formação de sacarose, motivada pela gradual escassez dos principais fatores responsáveis pelo desenvolvimento vegetativo, umidade e temperatura (TOPPA et al., 2011).

Os cultivares de cana diferem em sua capacidade de acumular sacarose e esta é uma das principais características fenotípicas selecionadas por programas de melhoramento, que realizam, rotineiramente, cruzamentos para identificar genótipos capazes de produzir maior teor de sacarose. Portanto é de grande importância a quantificação adequada dos açúcares que constituem o caldo.

2.4. O Bagaço da Cana-de-Açúcar

O bagaço da cana-de-açúcar constitui-se de uma biomassa vegetal lignocelulósica com elevado conteúdo energético. O bagaço recém-moído é composto por cerca de 50% de umidade, 45% de fibras lignocelulósicas, de 2 a 3% de sólidos insolúveis e de 2 a 3% de sólidos solúveis. É um material complexo constituído de 32-48% de celulose, seguido de 19-24% de hemicelulose, 23-32% de lignina e uma pequena quantidade de cinzas e extrativos. As fibras de celulose estão envolvidas em uma matriz amorfa de hemicelulose e lignina (Figura 3). Essa matriz amorfa age como uma barreira natural ao ataque de micro-organismos e/ou enzimas e torna esses materiais estruturalmente rígidos e pouco reativos. (SANTOS et al., 2011; SANTOS et al., 2012a).

A energia contida na biomassa vegetal é armazenada através do processo de fotossíntese, onde o CO₂ do ar é transformado em moléculas de glicose nas plantas. Esta energia em forma de biomassa pode ser utilizada para combustão direta produzindo eletricidade, e convertida a combustíveis líquidos utilizados no setor de transportes, pelo processo de hidrólise. Esta biomassa é promissora, pois contribui para o ciclo do carbono na atmosfera, já que o CO₂ emitido durante a queima é reabsorvido pelas plantas, resultando num balanço positivo e conseqüentemente reduzindo as emissões de CO₂ (OLIVEIRA et al., 2005; CHEN et al., 2011).

Além das análises tecnológicas para determinação da porcentagem de fibra, atualmente são realizadas análises para caracterizá-la de acordo com o teor de lignina, celulose e hemiceluloses, para um maior aproveitamento dessa biomassa na produção de bioenergia. A metodologia utilizada para a determinação da composição química de maneira eficiente do material lignocelulósico é de extrema importância para a utilização dessa biomassa, tanto para produção do etanol celulósico, como para produção de bioeletricidade.

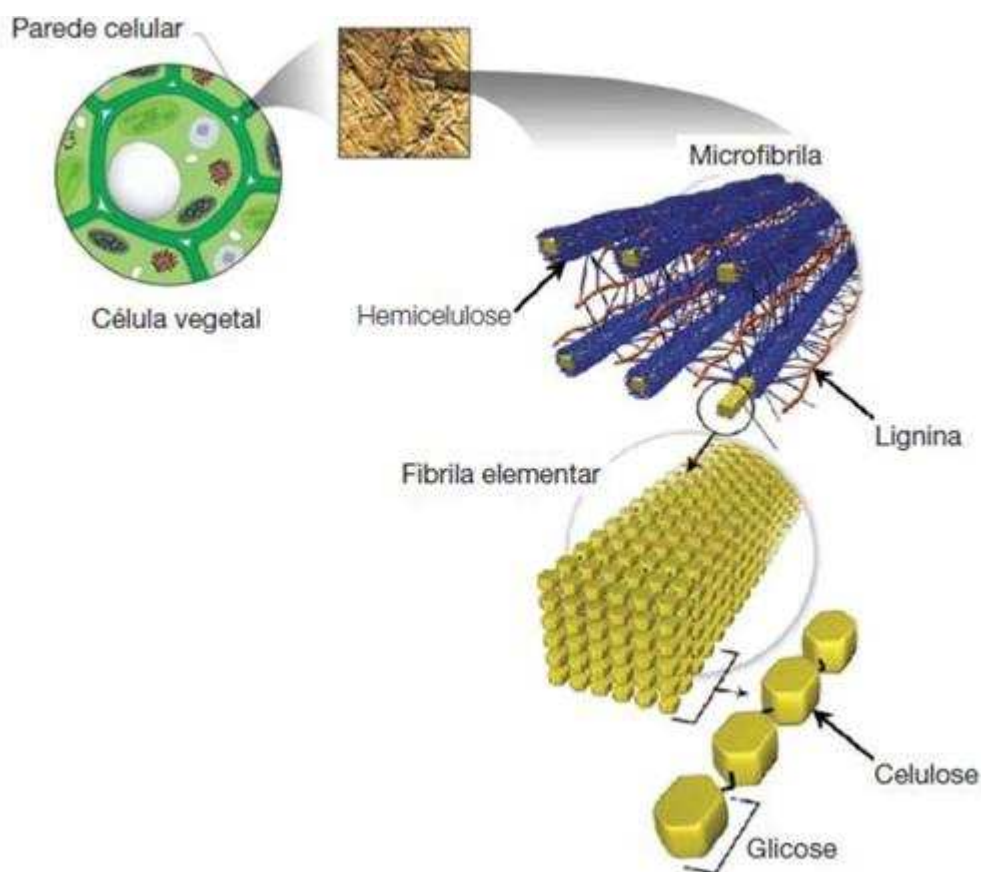


Figura 3. Estrutura da biomassa lignocelulósica da cana-de-açúcar.

Fonte: SANTOS et al., 2012.

2.4.1. Celulose

A celulose é um polímero natural de maior ocorrência no mundo, sendo o componente mais abundante dos materiais lignocelulósicos. Trata-se de um polímero linear de moléculas de celobiose, como representado na Figura 4, com porções amorfas e cristalinas, formado exclusivamente por moléculas de anidro-glicose unidas por

ligações β -(1,4)-glicosídicas de fórmula geral (C₆H₁₀O₅), (CARVALHO et al., 2009; AGUIAR e FERRAZ, 2011).

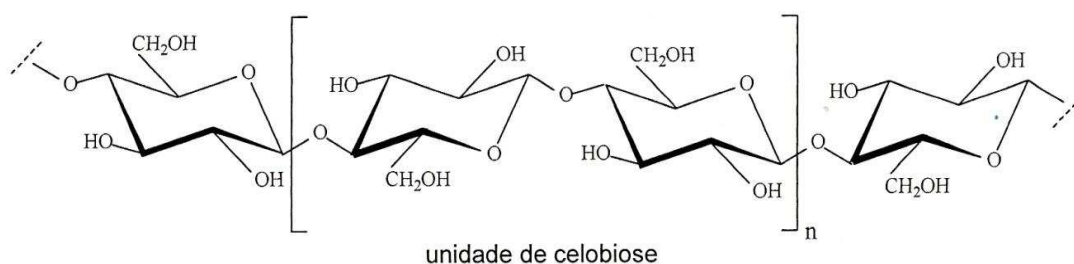


Figura 4. Estrutura química parcial da celulose.

As cadeias de celulose são organizadas de forma compacta na parede celular apresentando regiões nitidamente cristalinas. A formação de ligações de hidrogênio é o principal fator que influencia as propriedades físicas da celulose, tais como solubilidade, reatividade e cristalinidade. Os grupos OH das moléculas de celulose são capazes de formar dois tipos de ligações de hidrogênio intramoleculares e intermoleculares (Figura 5). Estas ligações são responsáveis pela manutenção das regiões cristalinas e tornam a celulose altamente resistente à hidrólise ácida, alcalina ou enzimática (SANTOS et al., 2012a).

Uma biomassa rica em celulose é desejável para a conversão dos açúcares em etanol celulósico, porém além da cristalinidade, a celulose se encontra envolta pela lignina e hemiceluloses, que interferem no processo de hidrólise. Desta forma, é essencial a utilização de um pré-tratamento eficiente, que tenha por finalidade alterar ou remover a lignina e a hemicelulose, aumentar a área superficial e diminuir o grau de polimerização e cristalinidade da celulose, acarretando em aumento na digestibilidade do complexo enzimático e, conseqüentemente, facilitando a liberação da glicose (ZHANG e LYND, 2004; CANILHA et al., 2010).

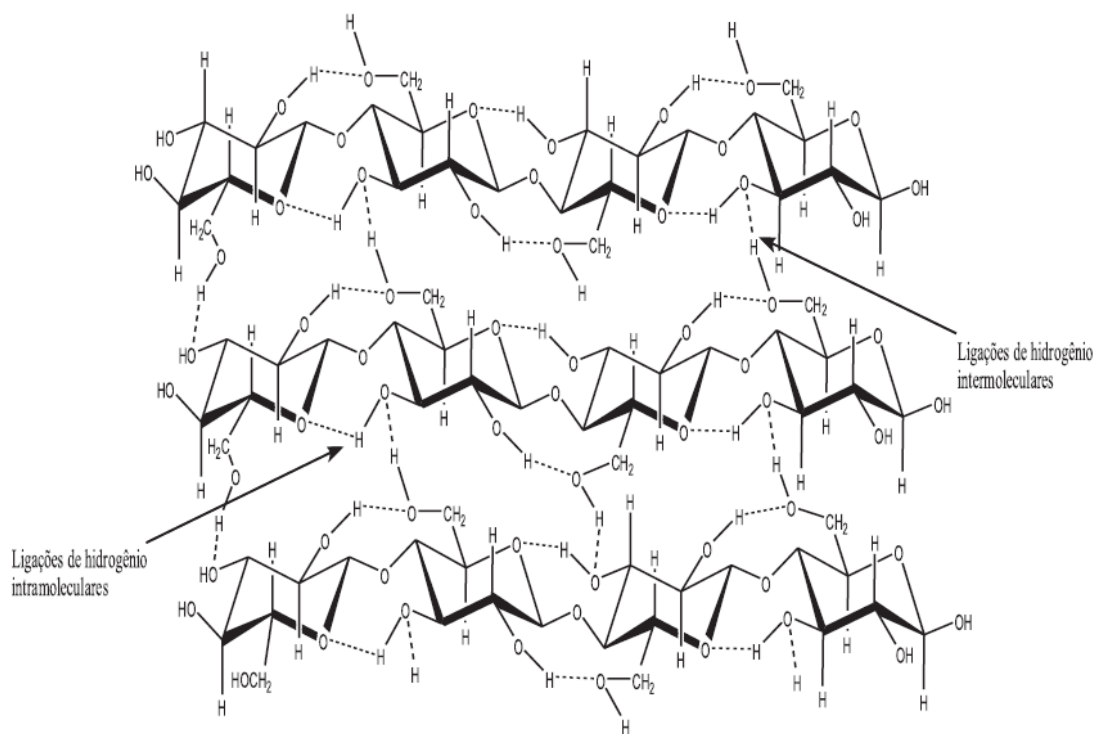


Figura 5. Ligações de hidrogênio intra e intermolecular na molécula de celulose.

2.4.2. Hemicelulose

São polissacarídeos ramificados não celulósicos também denominados poliose e de menor massa molar que a celulose, e estão associadas à celulose e à lignina. São formadas por ligações glicosídicas entre diferentes monossacarídeos, tais como: β -D-xilose, β -D-manose, β -D-galactose, e α -L-arabinose, ácidos α -D-glicurônico, e β -D-galacturônico bem como grupamentos 4-O-metil (PÉREZ et al., 2002; HON e SHIRAIISHI, 2001).

Madeiras de folhosas e coníferas diferem na porcentagem do total de hemiceluloses e também na porcentagem individual de cada açúcar que as compõem. No bagaço de cana-de-açúcar, o principal açúcar constituinte das hemiceluloses é a xilose (Figura 6).

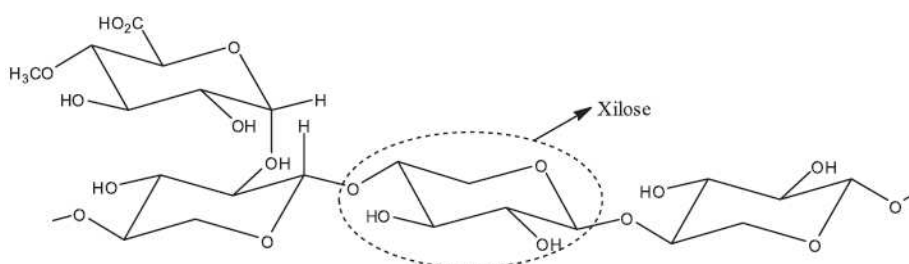


Figura 6. Representação esquemática da molécula de hemicelulose.

A presença de hemiceluloses envolvendo as cadeias de celulose dificulta o acesso dos reagentes e catalizadores no processo de sacarificação da biomassa. Porém, como estas polioses possuem caráter amorfo, apresentam maior susceptibilidade à hidrólise, quando comparadas com a celulose, oferecendo uma maior acessibilidade aos ácidos minerais comumente utilizados como catalisadores (FENGEL e WEGENER, 1983).

2.4.3. Lignina

A lignina, depois da celulose, é a macromolécula mais abundante dentre as biomassas lignocelulósicas, ocupando cerca de 30% dos carbonos da biosfera. É um heteropolímero amorfo localizado na lamela média, bem como na parede secundária. Durante o desenvolvimento das células, a lignina é incorporada como o último componente na parede, interpenetrando as fibrilas e assim fortalecendo e enrijecendo as paredes celulares. Tem um importante papel no transporte de água, nutrientes e metabólitos, sendo responsável pela resistência mecânica de vegetais, além de proteger os tecidos contra o ataque de microorganismos (FENGEL e WEGENER, 1983).

Apresenta uma estrutura complexa, altamente condensada formada por três precursores fenilpropanóides monoméricos: álcool sinapílico (propanol siringil), álcool coniferílico (propanol guaiacil) e álcool p-cumerílico (propanol p-hidroxifenil), ilustrados na Figura 7 em proporções diferentes, de acordo com sua origem, (LAPIERRE, 1993).

Em uma conceituação mais precisa, a lignina pode ser classificada nos seguintes grupos: Tipo G; Tipo G-S; e Tipo H-G-S. O tipo G, são constituídas principalmente por guaiacilas que estão presentes em madeiras de coníferas. A segunda forma de variação é a do tipo G-S que são formadas por quantidades iguais de guaicila e siringila, e em menor quantidade por p-hidroxifenila, essa variação é encontrada em madeira de folhosas. Ainda temos o terceiro grupo que é denominado como tipo H-G-S nessa variedade a quantidade de p-hidroxifenila é encontrado em maior quantidade do que nos tipos anteriores, mais não é superior do que as quantidades de guaicila e siringila, e é mais facilmente encontrada em gramíneas (FENGEL e WEGENER, 1983; CHEN, 1991; PILÓ-VELOSO et al., 1993).

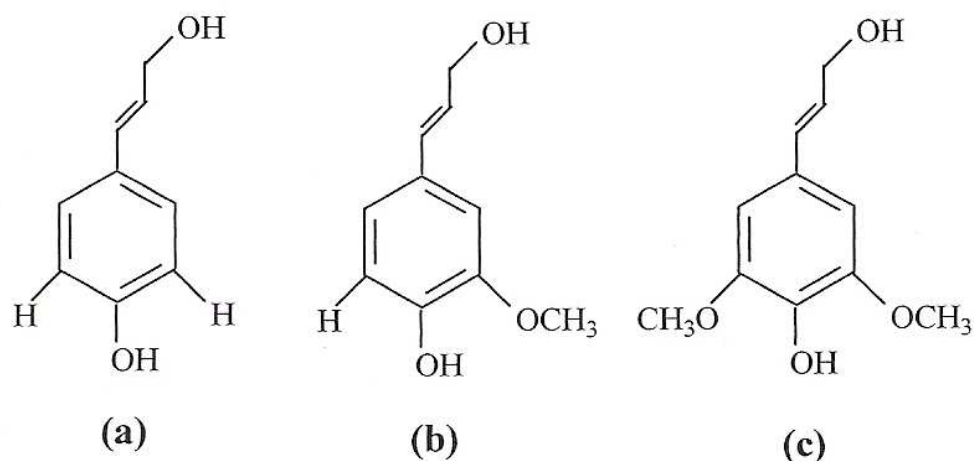


Figura 7. Precursores primários das ligninas: álcool p-cumarílico (a), álcool coniferílico (b) e álcool sinapílico (c).

A polimerização da lignina resulta numa série de ligações químicas aleatórias, as quais conferem um elevado grau de complexidade em sua estrutura química, representado na Figura 8. As ligações covalentes entre carbono e carbono, carbono e éter (C – C; C – O – C; respectivamente) na lignina conferem sua resistência a hidrólise, tornando ainda mais difícil seu isolamento e análise estrutural (JUNG e FAHEY, 1983). Além disso, os produtos da polimerização apresentam uma estrutura tridimensional condensada, a qual explica também porque a lignina é tão refratária à hidrólise. Esta resistência tem também dificultado o desenvolvimento de técnicas laboratoriais para quantificar este composto (VAN SOEST, 1994).

A lignina encontra-se em estreita associação com os carboidratos da parede celular, formando um revestimento protetor da estrutura celulose-hemicelulose da célula e durante o crescimento da planta, aparentemente protege esta camada dos ataques bacterianos (NUNES, 1998). Esta associação dificulta o acesso e a hidrólise da celulose para liberação da glicose na produção do etanol celulósico.

A lignina é um componente desejável na conversão da biomassa em carvão e seu teor é um parâmetro importante, do ponto de vista industrial. Isso porque, de modo geral, espera-se que quanto maior a proporção de lignina total maior será a conversão em carvão vegetal, em função da sua maior resistência à degradação térmica (SANTOS et al., 2012b). Ela apresenta maior estabilidade térmica devido às ligações carbono-carbono entre as unidades monoméricas de fenil-propano e, conseqüentemente, a estabilidade de sua matriz aromática (SHARMA et al., 2004; YANG et al., 2006).

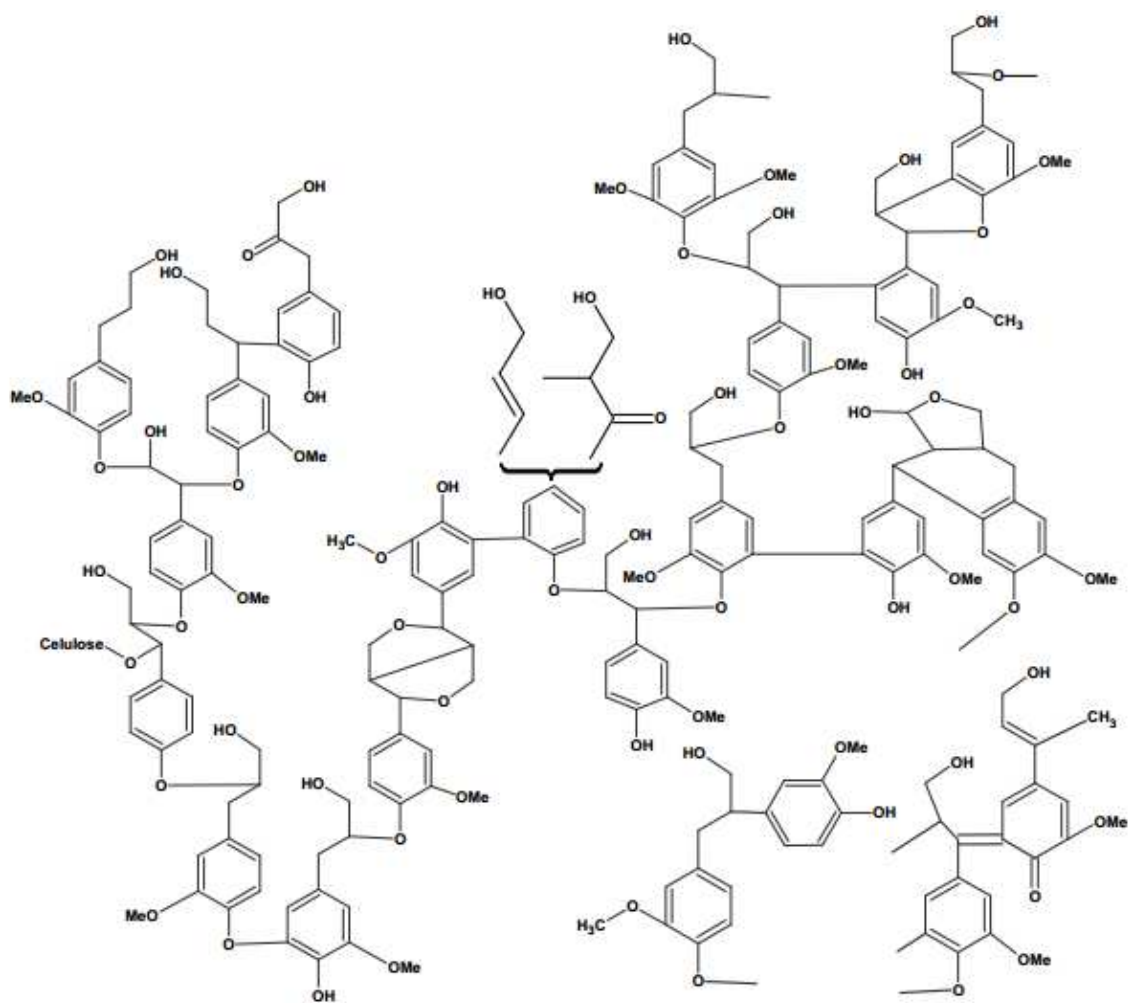


Figura 8. Modelo esquemático da estrutura química da lignina proposto por FENDEL e WEGENER, 1983.

2.4.4. Cinzas

As cinzas são constituintes inorgânicos de baixo peso molecular que se encontram junto aos componentes lignocelulósicos da parede celular, representados em maior quantidade por sais e óxidos de Ca, K e Mg seguidos de Mn e Na.

Na produção do etanol celulósico, elevadas concentrações de cinzas podem diminuir o potencial energético do bagaço da cana para o processo de fermentação, pois pode ser tóxica a leveduras. Consequentemente, podem acarretar um aumento na capacidade tamponante da matéria prima, levando a uma neutralização parcial dos catalisadores ácidos responsáveis pela hidrólise parcial dos polissacarídeos constituintes da biomassa, além de causar maior abrasão e corrosão dos equipamentos (SANTOS et al., 2014).

Na utilização da biomassa para queima, altos teores de cinzas contribuem para a redução do poder calorífico por unidade de massa, visto que os materiais minerais

(cinzas) não participam do processo de combustão, mas são contabilizados na massa do combustível submetido ao processo de queima (BRAND, 2010). As madeiras com menos de 1% de cinzas, geralmente, têm valores próximos de 20 MJ. kg⁻¹ e para cada aumento de 1% de cinzas ocorre um decréscimo de 0,2 MJ.Kg⁻¹ no poder calorífico (JENKINS, 1998).

2.5. A Matriz Energética Nacional

A preocupação com a segurança energética do planeta visto a redução de fontes de energia não renováveis, como petróleo, carvão e gás natural, aliada as preocupações ambientais devido a crescentes emissões de gases do efeito estufa, principalmente o dióxido de carbono (CO₂), estimulam o incentivo para a utilização de insumos renováveis em todo o mundo.

Estima-se o esgotamento das reservas de combustíveis de origem fóssil nos próximos 50 anos e com o crescente aquecimento da atmosfera, até o final do século XXI teremos aumento significativo no nível dos mares, o que irá afetar toda a vida na Terra (MOTA et al., 2009; SAIDUR et al., 2011). Dadas às preocupações, em 1997 foi assinado por vários países o Protocolo de Kyoto, com o objetivo de firmar um acordo internacional, onde cada país envolvido seria responsável por limitar e reduzir as emissões de gases causadores do efeito estufa. Este acordo teve grande importância na mudança das matrizes energéticas para cumprir as metas na produção de energia (MARCATTO e LIMA, 2013).

Atualmente o Brasil destaca-se entre os demais países na produção de bioenergia, pois além de apresentar extensa área cultivável e grande potencial hídrico, em 2013, a participação de renováveis na matriz energética brasileira foi de 41% (Figura 9), conservando-se entre as mais elevadas, comparada à média mundial. Dos 59% da energia não renovável utilizada, o petróleo contribuiu com 39,3%, seguido pelo gás natural, carvão mineral e urânio com 12,8%, 5,6% e 1,3%, respectivamente (EPE, 2014).

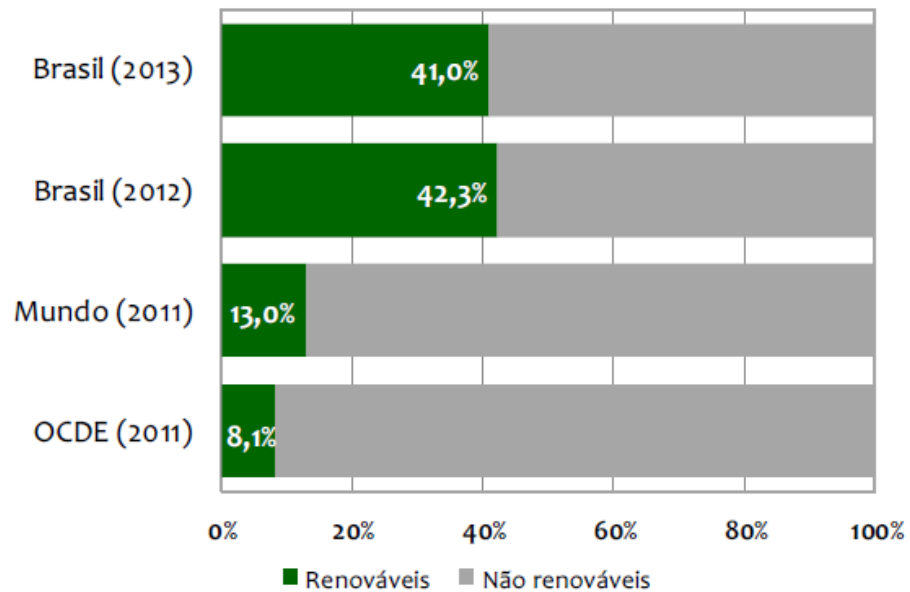


Figura 9. Gráfico da participação de renováveis na matriz energética mundial.

Fonte: EPE; Agência Internacional de Energia. Elaboração: EPE, 2014

Segundo os dados da EPE (2014), em 2013 a biomassa da cana-de-açúcar se destacou entre as principais fontes renováveis de energia, contribuindo com 16,1%, porém deste total, apenas 4,8% se dá pelo consumo do etanol produzido a partir do caldo, sendo que a maior parte é da utilização do bagaço da cana (11,3%), principalmente na cogeração de energia (Figura 10). O aproveitamento do bagaço da cana-de-açúcar na produção de bioenergia tem despertado grande interesse, pois consiste em um material lignocelulósico altamente energético, além de ser uma matéria prima economicamente atrativa e disponível em abundância (GONÇALVES et al., 2009).

Na busca por minimizar o impacto ambiental e aumentar o potencial da matriz energética nacional, as usinas sucroalcooleiras, preservando a produtividade de açúcar e etanol, devem investir também no bagaço e na palha para o fornecimento de bioenergia tanto internamente como em nível de exportação (CANILHA et al., 2010). Com este investimento será possível aumentar significativamente a produção de etanol, além de incrementar o desempenho da cogeração para gerar excedentes para a rede pública, contribuindo para a oferta de bioeletricidade, sem a necessidade de aumentar a área cultivada (SILVA et al., 2010b).

Estimulado por um forte programa de combustíveis alternativos capitaneados pelo etanol da cana-de-açúcar, o país já se tornou inquestionavelmente a maior referência mundial em biocombustíveis e para continuar nesta posição serão necessários

recursos para pesquisa e desenvolvimento, visando manter e modernizar os sistemas de produção de bioenergia atuais (LIMA et al., 2010.).

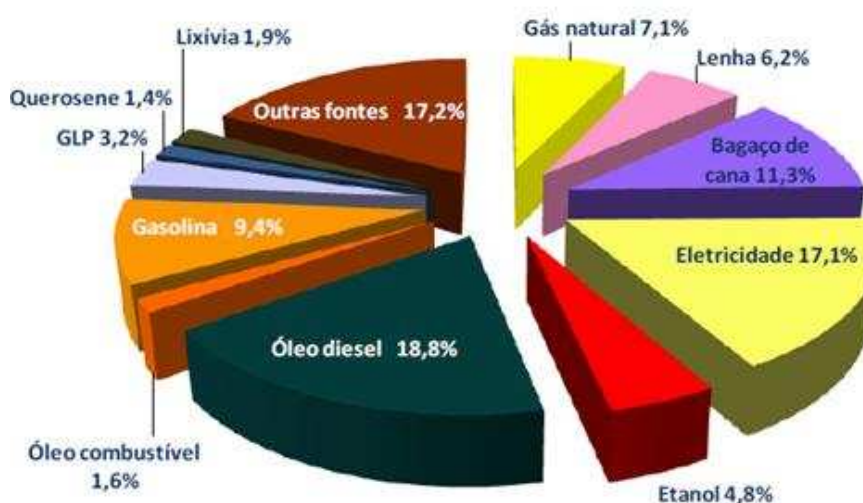


Figura 10. Consumo de energia por fonte no Brasil em 2013.

Fonte: EPE; Agência Internacional de Energia. Elaboração: EPE, 2014.

2.5.1. Bioetanol

O Brasil desde 1975, quando se iniciou o PROÁLCOOL, está fortemente ligado à produção de biocombustíveis. Este programa, diante à crise do petróleo, objetivou aumentar a produção de etanol como substituto para a gasolina que se apresentava cara e escassa. O país, contando com intervenções governamentais, desenvolveu tecnologias para a utilização de energia renovável em grande escala (BALAT e BALAT, 2009).

No ano de 1984, 94,4% dos carros novos brasileiros eram movidos a etanol e vendidos com incentivos e créditos baratos. Com a nova queda dos preços do petróleo, aumentaram-se as vendas de veículos movidos à gasolina, levando, em 1990, ao fim da produção de motores movidos somente a etanol. Com o constate crescimento do setor sucroalcooleiro, em 1999 o PROÁLCOOL foi extinto, permitindo mais incentivos ao investimento privado e reduzindo a intervenção do governo nas atribuições e preços. Em 2003, foi produzido em série no Brasil carros com motores flex fuel, movidos à gasolina e/ou etanol, permitindo a competição do etanol com a gasolina no país (KOHLHEPP, 2010).

Além dos automóveis a álcool, em menos de um quarto de século o governo brasileiro aprovou a mistura de etanol na gasolina de 1,1% a 25% em cada litro, evitando a emissão de 110 milhões de toneladas de gás carbônico na atmosfera e a

importação de 550 milhões de barris de petróleo, equivalentes a US\$ 11,5 bilhões (MASIERO e LOPES, 2008).

O etanol é produzido através da fermentação de açúcar ou amido, o Brasil e os EUA dominam a produção de etanol, a partir da cana-de-açúcar e do milho, respectivamente. O balanço energético para converter o milho em etanol é considerado desfavorável, em relação a cana-de-açúcar, que também apresenta vantagens em termos de produtividade, comparação representada na Tabela 2. Enquanto a redução de gás efeito estufa (GEE) na produção e na combustão do etanol de cana-de-açúcar é de 66%, para o etanol de milho é de apenas 12% (MAFIOLETTI et al., 2011; SANTOS et al., 2012a).

Tabela 2. Comparação entre a produção de etanol a partir da cana-de-açúcar no Brasil e do milho nos Estados Unidos.

Parâmetro	Unidade	Cana-de-Açúcar	Milho
Produção	Milhões de t	651,50	318,50
Rendimento	t/ha	80,00	9,70
Energia Exigida	Kcalx1000	10.509	8.115
Energia Entrada: Saída	kcal	1:4,60	1:3,84
Produção de Álcool	L/ha	7.200	3.600
Produção Total Atual	Bilhões (L)	28,40	49,30
Balanço de Energia	Kcal input:output	1:3,24	1:1,29
Custo de Produção	U\$/L	0,28	0,45
Número de Usinas	Unidade	434	187
Subvenção Governamental	US\$ bilhões/ano	-	4,10

Fonte: ANDREOLI e SOUZA (2006), atualizados com dados da Conab (2010) e United State (2010).

A maior parte do etanol produzido no Brasil é consumida internamente substituindo, parcialmente, o uso da gasolina. Com os avanços tecnológicos, é importante que o governo brasileiro reveja a tributação sobre o produto, amplie os financiamentos para renovação dos canaviais e continue procurando se adequar às exigências do mercado, principalmente no que se refere à certificação dos biocombustíveis, para que o Brasil consiga inserir o etanol como importante commodity no mercado internacional, visando atingir principalmente os mercados dos Estados Unidos e da Europa, que são os mais promissores (BITTENCOURT et al., 2012).

Os Estados Unidos produziram 40 bilhões de litros de etanol em 2009. Com a criação da Lei de Segurança e Independência Energética (EISA) em 2007, estipularam a meta para produção de 136 bilhões de litros de etanol até 2022, considerando 57 milhões derivados do amido de milho e 79 milhões a partir de biomassa celulósica. O país é o responsável por aproximadamente 45% da produção e quase 70% das exportações mundiais, a necessidade de aumentar o cultivo para produção de etanol, tem levantado sérias preocupações sobre o aumento dos preços dos alimentos, podendo afetar a segurança alimentar. Desta forma é visível a dificuldade do país em cumprir a meta da EISA, pois com base na produção atual de milho, o país teria que destinar 80% para produção de biocombustíveis (SMITH et al., 2012).

O mercado europeu é o segundo maior atualmente e pode ser atrativo para a exportação do etanol brasileiro, pois não possui um programa como o etanol de milho norte americano, produzindo o etanol, em escala inferior, a partir da beterraba e do trigo. Além disso, a diretiva da União Europeia determinou que até 2020 todos os 27 países do bloco devem utilizar 10% de seus combustíveis advindos de fontes renováveis (SILVA et al., 2013).

Para complementar o sistema de produção nacional, e atender à crescente demanda pelo produto no mercado internacional, está em foco o desenvolvimento de tecnologias para produção de etanol celulósico a partir da biomassa da cana-de-açúcar. Considerando a conversão de toda a celulose contida na biomassa em etanol, o aproveitamento integral da cana-de-açúcar (colmo, palha e bagaço) poderá aumentar em até 50% a produção de etanol por hectare, sem expandir a área cultivada (PIETROBON et al., 2011; SANTOS et al., 2014).

Além disso, com esta tecnologia de segunda geração, é possível reduzir os custos de produção e o impacto sobre os preços dos alimentos, garantindo o suprimento do combustível renovável sem prejudicar a segurança alimentar do país, visto que a produção de biocombustíveis a partir do bagaço da cana não compete pelos mesmos recursos com a produção dos alimentos (CHAKRAVORTY et al., 2009; ZILBERMAN et al., 2012).

A tecnologia de conversão da biomassa lignocelulósica em açúcares fermentáveis para a produção de etanol celulósico envolve quatro etapas: (i) pré-tratamento, para romper a estrutura cristalina da celulose (ii) hidrólise enzimática, para hidrolisar os polissacarídeos em açúcares fermentescíveis; (iii) fermentação, para converter os açúcares em etanol e a (iv) destilação, que visa a separação de

componentes de uma mistura, de acordo com a volatilidade relativa dos componentes (SANTOS et al., 2013).

A produção de etanol celulósico já começou a ganhar escala comercial no Brasil, no ano de 2012, foi anunciada a primeira usina comercial, localizada em Alagoas, cuja inauguração está prevista para 2014. A capacidade de produção brasileira poderá atingir nos próximos anos 245 milhões de litros de etanol celulósico, distribuídos em cinco plantas em construção (EPE, 2013). O Brasil apresenta grande possibilidade de elevar seu potencial, com o aproveitamento da biomassa para produção do etanol celulósico, definindo sua competitividade e sustentabilidade em relação ao resto do mundo (VICHI e MANSOR, 2009).

2.5.2. Bioeletricidade

A bioeletricidade é uma energia limpa e renovável feita a partir de biomassa, como resíduos da cana-de-açúcar (bagaço e palha), restos de madeira, carvão vegetal, casca de arroz, capim-elefante entre outras.

A matriz elétrica brasileira apresenta 79,3% de sua energia advinda de fontes renováveis. É composta por 70,6% de energia hidráulica, seguida por 25,9% térmica, 2,4% nuclear e 1,1% eólica. Na produção de eletricidade a partir da energia térmica, é crescente a utilização de biomassa vegetal, principalmente do bagaço da cana-de-açúcar (EPE, 2013).

Cada tonelada de cana-de-açúcar moída na fabricação de açúcar e etanol gera, em média, 250 kg de bagaço. Devido à imensa escala de produção do setor sucroalcooleiro, desde a revolução industrial o bagaço de cana com seu alto teor de fibras, tem sido empregado na produção de vapor e energia elétrica, garantindo a autossuficiência energética das usinas. Mas além de atender suas necessidades energéticas é evidente o potencial de produção de excedentes de eletricidade a serem exportados para rede com a adoção de tecnologias de produção mais eficientes. Desde a década de 1980 o bagaço tem permitido a geração de excedentes de energia elétrica que são fornecidos para o sistema elétrico brasileiro (CASTRO e DANTAS, 2011).

Uma tonelada de bagaço pode gerar mais de 300k Wh para a rede elétrica. Segundo dados da ANEEL (2014), a capacidade de geração de energia por biomassa corresponde a 8,94% da matriz energética do país. Dessa capacidade, o bagaço de cana corresponde a cerca de 82%. O número de usinas capazes de gerar energia a partir do bagaço de cana é atualmente de 378 unidades com uma capacidade instalada de 9.339

MW. O uso do bagaço para geração de eletricidade e energia excedente evita as emissões na atmosfera de 225 kg de CO₂.

A complementaridade da bioeletricidade com a fonte hídrica representa uma das principais contribuições do setor sucroenergético para a garantia de suprimento de energia elétrica no país, visto que a época de seca dos reservatórios coincide com a colheita nos canaviais na região Centro-Sul (abril a novembro). Segundo dados da UNICA, em 2013, a oferta de bioeletricidade para o sistema interligado foi de 1.720 MW (Figura 11) o que economizou 7% da água nos reservatórios das regiões Sudeste/Centro-Oeste, equivalente ao atendimento de 8 milhões de residências no ano. O volume financeiro estimado a partir da venda de bioeletricidade alcançou US\$ 894 milhões.

Nas usinas e destilarias, o excesso do bagaço produzido é estocado, porém após a extração do caldo resta no bagaço úmido cerca de 2 a 3% de açúcar, que devido ao alto teor de umidade e à ação microbiana, sofre fermentação, provocando sua deterioração e destruindo os polissacarídeos da parede celular (hemicelulose e celulose) e a lignina. Independentemente da secagem do bagaço e sua exposição às intempéries, sempre ocorre redução de seu poder calorífico (SANTOS et al., 2011).

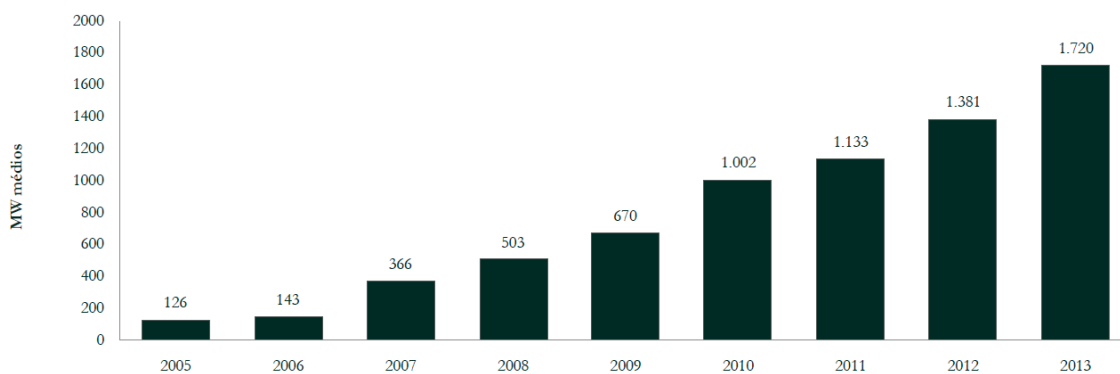


Figura 11. Oferta de bioeletricidade a partir do bagaço de cana-de-açúcar para o sistema interligado no Brasil.

Fonte: MME (2013). Dados de 2013 previstos pela UNICA a partir de dados da CCEE (2014)

Como alternativa à estocagem e para a produção de bioeletricidade na forma mais refinada e lucrativa, a biomassa da cana pode ser processada e prensada em pequenos blocos, os péletes e briquetes, que são menos higroscópicos e mais resistentes ao apodrecimento ou à fermentação do que o bagaço na condição natural, facilitando a

estocagem e muito mais ainda o transporte, além de aumentar o valor agregado do produto. O diâmetro dos péletes pode variar entre 6 e 16 mm, enquanto os briquetes possuem diâmetro superior a 50 mm, são substitutos diretos da lenha em muitas aplicações, incluindo o uso residencial, em indústrias e estabelecimentos comerciais. O emprego de briquetes está difundido em países em desenvolvimento, e o de péletes em países mais desenvolvidos, pois requer maior nível de automação e controle do processo. A Europa é o principal mercado consumidor de péletes de bagaço de cana-de-açúcar do mundo (BHATTACHARYA, 2002; DIAS et al., 2012).

A qualidade dos briquetes e péletes está diretamente relacionada com as suas propriedades químicas, físicas e mecânicas. Os constituintes químicos da biomassa têm grande influência sobre o poder calorífico, um material rico em lignina e em extrativos solúveis em compostos orgânicos, tem um elevado poder calorífico. E, além disso, quanto menor o teor de umidade maior será a produção de calor por unidade de massa, pois parte da energia liberada é gasta na vaporização da água e se o teor de umidade for muito variável, poderá dificultar o processo de combustão (VALE, 2000.; GONÇALVES et al., 2009).

Portanto a produção de bioeletricidade a partir do bagaço da cana-de-açúcar é uma alternativa viável como complemento da oferta de energia interna e devido a alta produção apresenta potencial para suprir a demanda do mercado externo.

2.6. Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar

Nas últimas décadas, foi marcante a contribuição do melhoramento genético no desenvolvimento do setor canavieiro do Brasil, com ganhos acentuados de produtividade e qualidade. Houve mais de 30% de aumento na média de produtividade da cana-de-açúcar e da recuperação de quilogramas de açúcar por tonelada de cana moída. À medida que as técnicas de produção são aprimoradas e que novas variedades de cana, mais ricas em açúcar, são introduzidas, aumenta-se a potencialidade econômica do Brasil no setor sucroalcooleiro (BARBOSA et al., 2000).

Para o plantio de cana são utilizados rizomas ou colmos, que permitem reproduzir o mesmo genótipo infinitas vezes. Contudo, em programas de melhoramento genético, a reprodução sexuada torna-se necessária para produzir novas combinações genéticas e a utilização de sementes constitui a base para obtenção de variedades mais produtivas (CABRAL et al., 2011). Atualmente cultivam-se variedades geneticamente melhoradas, e para que sejam escolhidas de forma adequada é de extrema importância o

conhecimento de seus caracteres agronômicos, fatores industriais e informações sobre a interação de todos os componentes bióticos, administrativos e fatores econômicos.

A conservação de recursos genéticos é feita em bancos de germoplasma que devem conter uma variabilidade genética que represente o acesso, seja de cultivar melhorada ou selvagem (LAVIOLA et al., 2011).

Um banco de germoplasma tem como razão fundamental o armazenamento e a disponibilização do germoplasma, contendo informações a respeito de determinado genótipo, com a identificação de características de importância para os programas de melhoramento genético (NASS e PATERNIANI, 2000; RAMOS et al., 2007; CARVALHO e QUESENBERRY, 2009). Segundo CRUZ et al., 2012, quando se dispõe de um banco de germoplasma um dos principais desafios é proporcionar seu uso de forma eficiente, sendo que atualmente, apenas cerca de 4% de todos os genótipos armazenados vem sendo utilizado no mundo. A fim de aumentar o uso deste germoplasma, de acordo com os interesses agronômicos, é necessário priorizar a caracterização, avaliação, documentação e informação sobre esses genótipos.

A caracterização dos recursos genéticos é um instrumento essencial para os programas de melhoramento genético, pois desta forma é possível realizar estudos de diversidade genética, sugerir possíveis cruzamentos entre genótipos, determinar a importância dos caracteres na avaliação da diversidade existente, realizar eventuais descartes de caracteres, determinar a relação entre os caracteres e elaborar coleção nuclear (MARIM et al., 2009).

A RIDESA, Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro, é o maior programa de melhoramento genético de cana-de-açúcar no Brasil, responsável pelos cultivares RB (República do Brasil), nasceu da união de Universidades Federais, que absorveram as atividades de pesquisa até então desenvolvidas pelo PLANALSUCAR. Apresenta como ponto forte a parceria com usinas e destilarias, as quais têm participado do desenvolvimento das cultivares desde as etapas iniciais do programa (BARBOSA et al., 2012).

A Universidade Federal de Viçosa-UFV herdou, em 1990, o acervo técnico e patrimonial da extinta Coordenadoria Regional Centro-COCEN do PLANALSULCAR. Em 1993 o Departamento de Fitotecnia assumiu a coordenação do Programa de Melhoramento de Cana-de-Açúcar-PMGCA e hoje abriga o Centro de Pesquisa e Melhoramento da Cana-de-Açúcar- CECA, Oratórios, MG. Até o momento, 78 cultivares foram liberadas pela RIDESA, sendo três delas, RB867515, RB928064 e RB937570, desenvolvidas pela Universidade Federal de Viçosa. As cultivares de sigla

RB são cultivadas na maior parte da área plantada com cana-de-açúcar no país, liderando o ranking na participação de mercado comparado com as variedades de cana desenvolvidas pelas principais organizações do Brasil, como apresentado na Tabela 3 (DAROS et al., 2010; BARBOSA et al., 2012).

Portanto, contando com o apoio de um forte programa de melhoramento, a partir da coleta e análise de dados de interesse, com o uso de metodologias genético-estatísticas, é possível analisar a diversidade genética dos diferentes genótipos que constituem um banco de germoplasma e seus respectivos potenciais (MARIM et al., 2009) para contribuir no desenvolvimento de variedades promissoras, com alta produtividade para açúcar e etanol, bem como para produção de uma biomassa mais rentável e eficiente no aproveitamento para cogeração de energia, representando uma fonte de recurso renovável e levando cada vez mais a sustentabilidade do setor sucroalcooleiro. (FLORENTINO et al., 2008)

Tabela 3. Participação no mercado nacional das variedades de cana-de-açúcar desenvolvidas pelas principais organizações brasileiras.

Organizações	Participação de Mercado
Ridesa	62%
CTC	33,8%
IAC	0,9%
Canavialis	0,01%
Outras	3,3%

Fonte: Centro Tecnológico Canavieiro (CTC), 2012.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. O Banco de Germoplasma

O banco de germoplasma estudado está localizado em área experimental da UFV-Universidade Federal de Viçosa, MG - Brasil e pertence ao Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-Açúcar integrado à Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (PMGCA/UFV- RIDESA).

Neste trabalho foram utilizados 90 genótipos de cana-de-açúcar (Tabela 4), dispostos em parcelas simples, sem repetição. A colheita dos colmos ocorreu aos 18 meses após o plantio e em cada parcela foram aleatoriamente colhidos 10 colmos. Os colmos foram cortados manualmente sem despalha prévia a fogo.

Tabela 4. Número de referência para 90 genótipos de cana-de-açúcar que constituem o banco de germoplasma estudado, seus genitores e respectivas origens.

Nº	Genótipo	Genitor feminino		Genitor masculino	Origem
1	SP80-1816	SP71-1088	X	H57-5028	COPERSUCAR
2	RB001915	RB83594	X	?	UFAL/RIDESA
3	RB001906	?	X	?	?
4	RB00509	RB931530	X	RB83594	UFAL/RIDESA
5	RB00416	CB47-355	X	?	UFAL/RIDESA
6	RB946903	RB765418	X	RB72454	UFPR/RIDESA
7	RB767647	?	X	?	?
8	RB001913	RB931602	X	?	UFAL/RIDESA
9	SP79-1011	NA56-79	X	Co775	COPERSUCAR
10	SP80-3280	SP71-1088	X	H57-5028	COPERSUCAR
11	RB947501	SP71-1406	X	RB72454	UFV/RIDESA
12	SP83-2847	HJ5741	X	SP70-1143	COPERSUCAR
13	RB93509	RB72454	X	?	UFAL/RIDESA
14	RB855046	SP70-1143	X	TUC71-7	UFSCAR/RIDESA
15	RB001914	RB72454	X	?	UFAL/RIDESA
16	MARIA PELADINHA	?	X	?	?
17	RB931555	SP71-6113	X	?	UFAL/RIDESA
18	RB945961	RB855206	X	?	UFSCAR/RIDESA
19	Q124	NCo310	X	54N7096	BSES
20	28NG289	SAC.ROBUST SAC.OFFIC.	X	?	ESTRANGEIRA
21	NG57-6	HYBRID	X	?	ESTRANGEIRA
22	RB72454	CP53-76	X	?	UFAL/RIDESA
23	RB00507	RB931530	X	RB83594	UFAL/RIDESA
24	UVA	?	X	?	?
25	Co285	Str.Mauritius	X	Sac.Spontaneum	ICAR, SBI
26	RB739359	IANE55-34	X	?	UFRRJ/RIDESA
27	RB835054	RB72454		NA56-79	UFSCAR/RIDESA
28	RB037210	?	X	?	?
29	RB985523	SP80-1520	X	SP70-1143	UFSCAR
30	RB975947	RB855563	X	RB735200	UFSCAR/RIDESA
31	RB965911	RB855546	X	?	UFSCAR/RIDESA
32	RB928064	SP70-1143	X	?	UFV/RIDESA
33	RB987649	RB72454	X	RB739359	UFV/RIDESA
34	SP70-1143	IAC48/65	X	?	COPERSUCAR
35	NA56-76	?	X	?	?
36	RB037133	SP77-5181	X	RB835486	UFV/RIDESA
37	RB037049	RB855546	X	RB957689	UFV/RIDESA
38	RB047128	SP85-3877	X	?	UFV/RIDESA

39	RB037142	RB855511	X	SP80-1816	UFV/RIDES A
40	RB047157	SP85-3877	X	?	UFV/RIDES A
41	RB037064	RB925345	X	RB855156	UFV/RIDES A
42	RB037231	?	X	?	?
43	RB037228	?	X	?	?
44	RB975019	RB855563	X	RB735200	UFSCAR/RIDES A
45	RB008340	SP80-3280	X	?	UFV/RIDES A
46	SP71-1406	NA56-79	X	?	COPERSUCAR
47	RB975138	RB855598	X	RB845257	UFSCAR/RIDES A
48	RB037109	?	X	?	?
49	RB037041	SP80-3280	X	RB855156	UFV/RIDES A
50	RB037189	SP80-185	X	RB912512	UFV/RIDES A CAMPOS BRASIL
51	CB49-260	CB44-36	X	?	BRASIL
52	SP77-5181	HJ57-41	X	?	COPERSUCAR
53	SP79-1011	NA56-79	X	Co775	COPERSUCAR
54	CB49-15	Co213	X	?	CB
55	RB037213	SP80-1816	X	?	UFV/RIDES A
56	IAC86-2210	CP52-58	X	Co798	IAC
57	RB925211	RB855206	X	?	UFSCAR/RIDES A
58	RB863129	RB763411	X	?	UFRPE/RIDES A
59	RB988078	RB83102	X	RB7245	UFV/RIDES A
60	RB988079	RB83102	X	RB7245	UFV/RIDES A
61	RB037229	SP83-5073	X	RB855511	UFV/RIDES A
62	RB037055	SP83-2847	X	RB855035	UFV/RIDES A
63	RB037060	SP77-5181	X	RB835486	UFV/RIDES A
64	RB037174	RB928064	X	RB945962	UFV/RIDES A
65	RB988105	RB72454	X	RB83102	UFV/RIDES A
66	RB988037	?	X	?	?
67	RB985571	RB835486	X	?	UFSCAR/RIDES A
68	RB008041	SP84-2025	X	SP80-3280	UFV/RIDES A
69	RB047031	RB955993	X	?	UFV/RIDES A
70	RB008029	RB845197	X	?	UFV/RIDES A
71	RB977514	SP80-1842	X	?	UFV/RIDES A
72	RB997671	SP80-185	X	SP80-3280	UFV/RIDES A
73	RB998211	SP85-162	X	SP82-3530	UFV/RIDES A
74	SP81-3250	CP70-1547	X	SP71-1279	COPERSUCAR
75	RB027053	SP85-3877	X	RB855536	UFV/RIDES A
76	RB037000	RB855156	X	RB957689	UFAL/RIDES A
77	RB037002	RB855511	X	RB925345	UFV/RIDES A
78	RB037158	RB912850	X	SP80-1816	UFAL/RIDES A
79	RB9438	RB83160	X	RB855202	UFAL/RIDES A
80	RB987667	?	X	?	?
81	RB008026	RB845197	X	?	UFV/RIDES A
82	RB997504	SP82-3620	X	?	UFV/RIDES A

83	RB987955	RB72454	X	RB739359	UFV/RIDESA
84	RB988082	RB83102	X	RB72454	UFV/RIDESA
85	RB988090	IAC86-2210	X	?	UFV/RIDESA
86	SP91-1049	SP80-3328	X	SP81-3250	COPERSUCAR
87	RB008296	SP80-1816	X	RB855589	UFV/RIDESA
88	RB008300	SP80-1816	X	RB855589	UFV/RIDESA
89	SP88-819	SP71-6106	X	?	COPERSUCAR
90	RB918625	?	X	?	?

3.2. Preparo das Amostras

Os colmos colhidos foram levados ao Campo Experimental de Cana-de-Açúcar (CECA), localizado em Oratórios – MG, pertencente ao PMGCA/UFV- RIDESA.

Inicialmente os colmos foram submetidos à desintegração e homogeneização e uma alíquota de aproximadamente 500g foi pesada em balança analítica, obtendo-se o peso fresco da amostra (PFA). Em seguida a amostra foi levada à prensa hidráulica, obtendo-se o volume do caldo extraído, o peso do bagaço úmido (PBU) e o peso do bagaço seco (PBS) após passagem pela estufa por 24 horas a 105° C. Simultaneamente, foi pesada outra alíquota de aproximadamente 500g de cada material e sem a retirada do caldo foi levada diretamente a estufa para obtenção do peso do bagaço seco com caldo (PBSC). Estes foram utilizados para as análises tecnológicas.

Por fim, o material seco sem caldo, passou por um moinho de bolas, através de uma malha de 0,4 mm e em sequência foram levados para as análises de composição da parede celular.

3.3. Análises Tecnológicas da Cana-de-Açúcar

As análises tecnológicas foram realizadas no CECA, conforme descrito por CONSECANA, 2006.

3.3.1. Determinação do Brix no Caldo (BRIX)

O brix refratométrico expressa o teor de sólidos solúveis por cento, em peso, de caldo, e constitui o parâmetro mais utilizado nas indústrias de açúcar e álcool.

A leitura foi realizada em refratômetro digital, de leitura automática, com correção automática de temperatura para 20°C. Com o auxílio de um bastão plástico, foram colocadas gotas de caldo, previamente filtrado, sobre o prisma do refratômetro e em seguida, feita a leitura do brix.

Para efeito de comparação com outras variáveis obtidas neste trabalho o valor de BRIX foi convertido de porcentagem (g/100g) para g/ Kg.

3.3.2. Determinação da Matéria Seca (MS)

A matéria seca representa a fibra e os sólidos solúveis totais (BRIX), após a retirada da umidade total do bagaço.

Determinada utilizando o peso fresco da amostra (PFA), previamente triturado e homogeneizado, sem passar pela prensa hidráulica, e o peso do bagaço seco com caldo (PBSC) obtido pela secagem dessa mesma amostra a 105° C até peso constante.

$$MS (\%) = (PBSC \times 100) / PFA$$

3.3.3. Determinação da Fibra na Cana-de-Açúcar (FB)

A fibra é a matéria seca insolúvel em água contida na cana-de-açúcar. Na fibra industrial o valor refere-se à análise da matéria-prima e, portanto, inclui as impurezas ou matérias estranhas que provocam aumento dos sólidos insolúveis.

Foi determinada em função do brix do caldo extraído da prensa hidráulica, peso do bagaço úmido (PBU) em gramas, que é o resíduo resultante da prensagem de 500g do colmo triturado.

Para o estado de Minas Gerais é utilizado a seguinte equação:

$$FB (\%) = (0,08 \times PBU + 0,876)$$

3.3.4. Determinação da Pol no Caldo (POL)

A POL é o teor de sacarose aparente por cento, em peso, de caldo, determinada pela capacidade que os açúcares têm de desviar a luz polarizada em uma única direção, sendo determinada por métodos sacarimétricos (polarímetros ou sacarímetros).

A leitura sacarimétrica do caldo foi determinada em sacarímetro digital, automático, calibrado a 20°C, após clarificação do caldo com mistura clarificante à base de alumínio.

$$POL (\%) = (1,00621 \times \text{leit. Sacarimétrica} + 0,05117) \times (0,2605 + 0,0009882 \times \text{Brix})$$

Para efeito de comparação com outras variáveis obtidas neste trabalho o valor da POL encontrado foi convertido de porcentagem (g/100g) para g/ Kg.

3.3.5. Determinação da pol na Cana-de-Açúcar (PCC)

A pol na cana é obtida em função da pol no caldo extraído multiplicado pela fibra e pelo coeficiente “C” que transforma a pol no caldo extraído em pol % cana. O coeficiente “C” representa a transformação do caldo extraído em todo o caldo absoluto, ou seja, é a extração de todo caldo proveniente da prensa hidráulica.

$$C = (1,0313 - 0,00575 \times FB)$$

$$PCC (\%) = POL \times (1 - 0,01 \times FB) \times C$$

3.3.6. Determinação da Pureza no caldo (PRZ)

A pureza é a porcentagem de sacarose (POL) contida nos sólidos solúveis (BRIX), sendo o principal indicador de maturação da cana-de-açúcar.

$$PRZ (\%) = POL / BRIX \times 100$$

3.3.7. Açúcares Totais Recuperáveis (ATR)

Os açúcares totais recuperáveis (ATR) é um dos parâmetros do sistema de pagamento de cana implantado no Estado de São Paulo e representa a quantidade de açúcares redutores totais (ART) recuperadas da cana até o xarope, é expresso em kg/ton de colmos. Calculado pela seguinte fórmula:

$$ATR (\text{kg/ton}) = (9,5263 \times PCC) + (9,05 \times ART)$$

O cálculo dos ART da cana resulta do somatório dos açúcares redutores (AR) presentes nessa forma no caldo da cana e glicose e frutose que se originaram da hidrólise da sacarose. São representados por todos os açúcares do material na forma de açúcar invertido.

$$ART (\%) = AR \times (1 - 0,01 \times FB) \times C$$

Os Açúcares redutores (AR) designam os açúcares (glicose e frutose) que apresentam a propriedade de reduzir o cobre do estado cúprico a cuproso. Calculado pela seguinte fórmula:

$$AR (\%) = (3,641 - 0,0343) \times PRZ$$

3.4. Análise Enzimática de Açúcares no Caldo

Esta análise foi realizada no Laboratório de Biotecnologia e Melhoramento Vegetal do Departamento de Fitotecnia, da Universidade Federal de Viçosa.

Uma alíquota do caldo de cada material proveniente da prensa hidráulica foi conservada a -20° C e utilizada para esta análise. Utilizaram-se duplicatas para cada amostra analisada.

Foram determinados os teores de glicose, frutose e sacarose, pelo método de extração enzimático (LISEC et al., 2006). Inicialmente 5uL de caldo foram diluídos em 25uL de água deionizada e 70 uL de álcool etílico absoluto. Em seguida, preparou-se um meio reacional composto por 2,670 ml de NAD⁺, 1,33 ml de ATP, 0,216 ml de Glicose-6-fosfato desidrogenase, 4 ml de Imidazol e completou-se com água deionizada para o volume de 20mL. Foram pipetados 5 uL de amostras de caldo, previamente diluído em álcool absoluto, em uma placa de Elisa. Em seguida pipetou-se 165 uL do meio reacional a cada poço da placa contendo as amostras.

A placa foi levada para leitura em um equipamento Multiskan GO Microplate Spectrophotometer, Thermo Scientific, que é um espectrofotômetro de microplacas UV / Vis. Utilizou-se comprimento de onda de 370 nm e agitação de 10 segundos antes de cada ciclo cinético. Foram programados quatro ciclos cinéticos, no primeiro, para formação da linha de base, foram 30 leituras com intervalos de 20 segundos. Sequencialmente adicionou-se 10 uL da enzima Hexoquinase, e iniciou-se o segundo com 30 leituras e intervalos de 3 minutos. Para o terceiro ciclo foram adicionados 10 uL da enzima PGI, utilizou-se as mesmas condições do ciclo anterior. No quarto e último ciclo cinético, foram adicionados 10 uL de Invertase e realizadas 40 leituras em intervalo de 3 minutos. O cálculo das absorbâncias para cada amostra foi feito a partir da diferença entre as médias após a estabilização de cada enzima

Foram construídas três curvas com os padrões de glicose, frutose e sacarose para o cálculo das concentrações de cada açúcar no caldo. Para as curvas da glicose e da frutose foram utilizadas soluções com concentração de 2mM/L do padrão, já para curva

de sacarose a concentração foi de 3 mM/L. O preparo do meio reacional, a configuração do equipamento espectrofotômetro para leitura das absorbâncias, bem como o volume das enzimas adicionadas em cada ciclo cinético foram os mesmos usados para as amostras.

Com o auxílio do Microsoft Excel foram feitos os cálculos das diferenças de absorbâncias após a adição de cada enzima, os modelos de regressão para cada curva padrão e calculada a concentração de glicose (GLI), frutose (FRU) e sacarose (SAC) no caldo. Obteve-se a partir do somatório dos três açúcares o teor de açúcares totais (AT).

3.5. Análises da Composição da Parede Celular

As análises foram realizadas no Laboratório de Biotecnologia e Melhoramento Vegetal do Departamento de Fitotecnia, da Universidade Federal de Viçosa.

3.5.1. Preparo das Amostras

Para estas análises utilizou-se o bagaço previamente triturado, prensado (sem caldo) e moído. Este material foi peneirado a 60 mesh para separação granulométrica e homogeneização adequada do material.

Aproximadamente 3g de amostra de bagaço de cana peneirado foram dispostas em cartuchos de papel. Os cartuchos contendo as amostras foram levados à estufa a 65°C para retirada da umidade. Posteriormente, em uma aparelhagem para extração Soxhlet, as amostras foram extraídas com solvente orgânico (etanol comercial) durante 5 horas. Após esse tempo, os cartuchos foram novamente levados à estufa para secagem. Tal procedimento é necessário para remover compostos que não fazem parte da biomassa e podem interferir nas análises.

Foram feitas duplicatas para cada análise.

3.5.2. Determinação de Lignina (LIG)

Diferente de outros componentes da parede celular da biomassa, a lignina é muito insolúvel em ácidos minerais. Por esta razão, a lignina pode ser analisada gravimetricamente depois da hidrólise da celulose e hemicelulose com ácido sulfúrico.

Para determinação de lignina utilizou-se o método descrito nos testes de NREL (GOLDEN, 1996) para determinar a lignina da biomassa, conhecida como lignina Klason (TAPPI, 1998). As amostras livres de extrativos foram secas a 65 °C. Aproximadamente 0,3 g do material foram colocadas em tubos de 100 ml e adicionados $3,00 \pm 0,01$ ml de ácido sulfúrico (H₂SO₄) a 72 %, agitou-se até que a amostra atingisse

completa homogeneidade. Disponibilizaram-se os tubos com as amostras em um banho de água a 30 ± 3 ° C durante 2 h, agitando as amostras com um bastão de vidro a cada 10 minutos, sem retirar a amostra do banho. Em seguida, a amostra foi diluída com $84,00 \pm 0,04$ ml de água deionizada, para reduzir a concentração de ácido sulfúrico. As amostras foram autoclavadas a 121 °C, 15 psi por 1 h. Em seguida, a lignina é deixada em repouso antes de ser filtrada. Foi feita a filtragem a vácuo das soluções da hidrólise depois da autoclavagem através dos cadinhos de vidro sinterizado (Laborglas 2D 50mL) anteriormente pesados.

Os cadinhos com sedimento de lignina foram colocados na estufa por um período de 5h (65°C), até peso constante, e o teor de lignina Klason determinado gravimetricamente. A massa do resíduo seco insolúvel representa o teor de lignina.

3.5.3. Determinação da Celulose e Hemicelulose (CEL e HEM)

A determinação da celulose e hemiceluloses foi feita em duas etapas. Inicialmente amostras de bagaço de cana, nas mesmas condições das amostras utilizadas neste trabalho, passaram por um método de análise gravimétrica para determinação da celulose e hemicelulose. Essas mesmas amostras foram submetidas a análises espectrofotométricas no Infra Vermelho Próximo (NIR) com o objetivo de criar um modelo para realizar a previsão de celulose e hemicelulose de forma rápida e com alta exatidão.

Das 90 amostras de bagaço seco deste trabalho foram obtidos os espectros no NIR e a partir do modelo criado foi feita a previsão dos teores de celulose e hemiceluloses.

3.5.3.1. Análise Gravimétrica da Celulose e Hemicelulose

A holocelulose é constituída apenas de celulose e hemicelulose. O procedimento utilizado para a preparação de holocelulose envolveu o tratamento da amostra com uma solução de acetato de sódio a 75 ° C durante 5 h, adicionando clorito de sódio, a cada hora, durante 4 h. A mistura foi em seguida, resfriada e o resíduo filtrado e lavado com água destilada e acetona. O resíduo foi seco à temperatura ambiente e, posteriormente, a 105 ° C. O resíduo final, após ser pesado, constitui o teor de homocelulose (CARRIER et al., 2011).

Para a determinação de α -celulose, foi adicionado à amostra de holocelulose uma solução de NaOH 17,5 % m/m à temperatura ambiente durante um período de incubação de 30 min. O resíduo foi filtrado e lavado com água. Logo após, foi

adicionada uma solução 10 % m/m de ácido acético e o resíduo filtrado, lavado com água quente e seco a 105 °C. Após a secagem, o material foi pesado determinando por gravimetria o teor de α -celulose. Desta forma a hemicelulose foi determinada pelo cálculo da diferença entre o teor de holocelulose e α -celulose.

3.5.3.2. Análise espectrométrica no NIR

Os espectros NIR foram obtidos em um espectrômetro com Transformadora de Fourier (FT) Agilent 660 com auxílio do acessório de refletância usando esfera de integração adquirido da PIKE Technologies. Este acessório coleta a energia refletida a partir de uma perspectiva esférica. A faixa investigada foi de 10000 a 4000 cm^{-1} com um incremento de 4 cm^{-1} . Os espectros foram obtidos através do software Resolutions Pro Versão 5.1, armazenando a informação como $\log(1/R)$, em que R é a refletância coletada. Para cada amostra um total de 64 varreduras foram realizadas e a média foi armazenada.

3.5.3.3. Construção do modelo de calibração

Para construção do modelo de calibração os espectros foram exportados para a extensão xls. e importados pelo Software Matlab7.8 (Math Works, Natick, USA). Uma matriz de dados com todos os espectros foi montada e denominada matriz **X**, que são as variáveis independentes. Um vetor contendo os valores determinados de lignina foi construído e denominado de **y**, que é a variável dependente. Foi utilizado a regressão PLS, aliada aos métodos GA, iPLS ou OPS. Os algoritmos para a construção e validação dos modelos foram escritos no Laboratório de Instrumentação e Quimiometria em função.m para Matlab. Todos os cálculos foram realizados no Software Matlab 7.8. O pacote computacional iToolbox foi usado para os cálculos iPLS. O pacote PLS-Toolbox 4.0 (MATLAB, 1984-1997) para Matlab foi usado para o cálculo de seleção de variáveis usando algoritmo genético.

3.5.4. Determinação das Cinzas (C)

Determinação por incineração em forno mufla a 600 °C por três horas. Em cadinhos previamente secos em estufa a 60 °C, resfriados em dessecador e com peso definido (MC), foram adicionadas aproximadamente 2,0000 g de amostra (MA), constituída pelo bagaço de cana moído e seco em estufa a 60 °C. O conjunto foi colocado em um forno mufla à temperatura ambiente, e utilizando uma rampa de aquecimento de aproximadamente 9,6 °C/min, para que a temperatura de trabalho de

600 °C fosse atingida após 60 minutos de aquecimento. Essa temperatura foi mantida por três horas. Em seguida o material foi removido e após resfriado em dessecador, foi determinado o peso do cadinho mais amostra calcinada (MCA).

$$C \% = \frac{MCA - MC}{MA} \times 100$$

3.6. Análise da Cristalinidade (CRL)

Esta análise foi realizada em Laboratório de Física do Departamento de Ciências Exatas, da Universidade Federal de Viçosa.

As amostras de bagaço de cana, moído e peneirado, foram misturadas com isopropanol PA, para melhor fixação da biomassa no suporte e dispostas em células cilíndricas de acrílico em formato de disco com 2 mm de profundidade e 25 mm de diâmetro. Após 24 horas, à temperatura ambiente, para total evaporação do solvente, em seguida as células com as amostras foram submetidas aos raios X.

Os difratogramas de raio X foram obtidos à temperatura ambiente, por um monocromador com fenda de 6 mm, no intervalo de ângulos 2θ variando de 10 a 40° com um incremento de 0,1000° e velocidade de 2 segundos por passo. O equipamento utilizado foi um difratômetro Universal de raio X, modelo raio-XD8 Discover da Bruker, operando a uma potência gerada de 40 kV e corrente de 40 mA e radiação de $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$). O tempo para a obtenção do difratograma foi de 20 minutos por amostra.

Os difratogramas foram coletados no formato “.brml” pelo software Difrac.Commander e importados para o software Difrac.Eva onde foram realizadas as correções de linha de base e exportação dos dados em formato ASCII.

Os índices de cristalinidade foram estimados com base nas áreas sob os picos cristalinos e o amorfo após a correção da linha base, com o auxílio dos softwares OriginPro 9.0 para visualização dos difratogramas e Microsoft Excel para os cálculos, foi obtida a cristalinidade segundo o método de Segal et al.

$$\text{CrI} (\%) = \frac{(I_{002} - I_{am})}{I_{002}} \times 100$$

em que CrI (%) representa a cristalinidade calculada, I002 a intensidade de difração associada a celulose cristalina (máximo de difração entre $20 < 2\theta < 25$) e Iam à celulose amorfa (mínimo de difração entre $15 < 2\theta < 20$).

3.7. Análises Estatísticas

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa computacional GENES (CRUZ, 2013).

Inicialmente, foi feita uma análise preliminar dos dados através da estatística descritiva, visando caracterizar os 90 genótipos para cada caractere estudado. Foram estimados a média, o coeficiente de variação, o máximo e o mínimo, a fim de conhecer a amplitude de variação e o potencial dos genótipos para seleção. Não foi possível proceder com análise de variância, visto que os dados não foram obtidos de delineamento experimental e os genótipos não contavam com repetições.

3.7. 1. Relação entre caracteres

Para definir o grau de associação linear entre os pares das variáveis, realizou-se a análise de Correlação de Pearson (STEEL e TORRIE, 1980), cujas significâncias das estimativas obtidas foram testadas pelo teste t a 1 e 5% de probabilidade, para todos os caracteres avaliados: sólidos solúveis (BRIX), fibra (FB), matéria seca (MS), sacarose aparente (POL), pureza (PRZ), açúcares totais recuperáveis (ATR), lignina (LIG), celulose (CEL), hemicelulose (HEM), cinzas (C), cristalinidade (CRL), glicose (GLI), frutose (FRU), sacarose (SAC) e açúcares totais (AT).

Realizou-se o diagnóstico de multicolinearidade na matriz de correlação fenotípica entre as 15 variáveis explicativas, com base no número de condições (NC), segundo o critério de MONTGOMERY e PECK (1981), que classifica a multicolinearidade como severa ($NC > 1000$), moderada a forte ($100 < NC < 1000$) ou fraca ($NC < 100$). Ao se detectar o problema de multicolinearidade severa, adotou-se a eliminação dos caracteres do modelo de regressão, que por conhecimento prévio do pesquisador estariam inter-relacionadas com outras variáveis e poderiam estar provocando danos na análise, são elas: sacarose aparente (POL), açúcares totais recuperáveis (ATR) e açúcares totais (AT). Após a retirada destas variáveis foi realizado novamente o diagnóstico de multicolinearidade, e assim foi obtido menor NC, não implicando em problemas para as análises.

Dada a presença de correlações significativas entre os caracteres estudados, após a exclusão das variáveis que estavam contribuindo com a multicolinearidade severa, prosseguiu-se com a análise de correlação parcial, pretendendo apresentar os reais efeitos de correlação entre as variáveis de interesse.

As análises foram complementadas com os estudos sobre o desdobramento do coeficiente de correlação pela análise de trilha, desenvolvida por WRIGHT (1921 e

1923) e pormenorizada por LI (1975). Esta análise consiste no estudo dos efeitos diretos e indiretos de caracteres sobre uma variável básica, cujas estimativas são obtidas por meio de equações de regressão, em que as variáveis são previamente padronizadas (CRUZ et al., 2012.). Desta forma, foi considerada como variável principal a matéria seca (MS), que é composta pela fibra (FB) e sólidos solúveis (BRIX). Esta análise foi feita depois de resolvido o problema de multicolinearidade severa, com a retirada das variáveis: sacarose aparente (POL), açúcares totais (AT) e açúcares totais recuperáveis (ATR).

3.7. 2. Análises de diversidade genética

Para seleção é importante avaliar e interpretar o máximo possível de características envolvidas no sistema produtivo. Desta forma, foram empregados métodos de estatística multivariada, que permite combinar as múltiplas informações contidas na unidade experimental, de modo que a seleção seja baseada em um complexo de variáveis importantes e discriminantes dos materiais mais promissores (MAÊDA, 2001).

A partir das variáveis avaliadas foi calculada a distância euclidiana média padronizada entre cada par de genótipos para a obtenção da matriz de dissimilaridade.

Realizou-se a análise de agrupamento com finalidade de reunir os genitores em grupos. A fim de agrupar os genótipos mais similares procedeu-se com o método de otimização de Tocher que realiza a partição do conjunto de indivíduos em subgrupos não vazios e mutualmente exclusivos, por meio da maximização ou minimização de alguma medida preestabelecida. A partir da matriz de dissimilaridade, identificou-se o par de indivíduos mais similares, que formaram o grupo inicial, em seguida foi avaliada a possibilidade de inclusão de novos indivíduos pelo critério de que as médias das medidas de dissimilaridade, dentro de cada grupo, devem ser menores que as distâncias médias entre quaisquer grupos (CRUZ et al., 2012.).

Aplicou-se também o método de agrupamento hierárquico para o estabelecimento de um dendrograma, em que os indivíduos foram agrupados por um processo que se repete em vários níveis, assim não houve a preocupação com o número ótimo de grupos, uma vez que o interesse está no dendrograma e nas suas ramificações. Foi utilizado o método de ligação média não ponderada entre grupos, mais conhecido como UPGMA, que utiliza as médias aritméticas (não ponderadas) das medidas de dissimilaridade e tem como regra geral a construção do dendrograma estabelecida pelo genótipo de maior similaridade (CRUZ et al., 2011).

Com o objetivo de avaliar a dissimilaridade dos genótipos em gráficos de dispersão que tem os primeiros componentes como eixos de referência, utilizou-se a análise por componentes principais, que consiste em transformar o conjunto original de variáveis em outro conjunto de dimensão equivalente, mas com propriedades importantes. A partir desse método, verificou-se a importância de caracteres estudados sobre a variação total disponível entre os genótipos avaliados, neste procedimento a avaliação da diversidade genética foi feita considerando o padrão de agrupamento, a partir da matriz de distância euclidiana média padronizada. As variáveis menos importantes para o estudo da diversidade foram identificadas a partir dos elementos dos autovetores, associadas aos menores autovalores da matriz de correlação entre os dados originais (CRUZ et al., 2011).

3.7. 3. Seleção

Para selecionar genótipos superiores para futuros cruzamentos de acordo com a finalidade desejada, foi utilizado um índice de seleção com base em soma de postos (ou Ranks). Este índice foi proposto por MULAMBA e MOCK (1978) e consiste em classificar os materiais genotípicos em relação a cada um dos caracteres, em ordem favorável ao melhoramento, previamente estabelecida pelo usuário (CRUZ et al., 2012.).

Uma vez classificados, foram somadas as ordens de cada material genético referente a cada caráter, resultando uma medida adicional tomada como índice de seleção.

Das variáveis disponíveis foram selecionadas as variáveis para identificar genótipos superiores para cada propósito deste trabalho. Foi estabelecido o sentido de seleção, em ordem crescente ou decrescente de grandeza para cada variável, ou seja, genótipos com maiores ou menores valores de acordo com cada objetivo.

Primeiramente procurou selecionar materiais com caldo de alta qualidade (altos teores de açúcares) e biomassa favorável para produção de bioeletricidade (alto teor de fibra e lignina e baixo teor de cinzas). Assim as variáveis selecionadas para esta análise foram: sacarose aparente (POL), sacarose (SAC), açúcares totais (AT), sólidos solúveis (BRIX), açúcares totais recuperáveis (ATR), pureza (PRZ), fibra (FB), lignina (LIG) e cinzas (C).

Em seguida selecionou-se um novo grupo de materiais com alto teor de açúcares, mas desta vez com a biomassa favorável para a produção de etanol celulósico (altos teores de fibra, celulose e hemicelulose, e baixos teores de lignina, cristalinidade e

cinzas). Assim as variáveis selecionadas para esta análise foram: sacarose aparente (POL), sacarose (SAC), açúcares totais (AT), sólidos solúveis totais (BRIX), açúcares totais recuperáveis (ATR), pureza (PRZ), fibra (FB), celulose (CEL), hemicelulose (HEM), cristalinidade (CRL) e cinzas (C).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Estatística Descritiva

As análises descritivas mostraram a amplitude de variação entre os 90 genótipos de cana-de-açúcar para cada caractere avaliado, o resultado está exposto na Tabela 5.

A matéria seca (MS) foi obtida a partir da retirada da umidade, sendo ela composta da fibra (FB) e dos sólidos solúveis totais (BRIX). Visto que a cana-de-açúcar possui entre 75 a 82% de umidade, os materiais avaliados apresentaram alta média para matéria seca (28,63%) e alta amplitude de variação (2,41 a 49,7 %), com coeficiente de variação de 21,11%. O que implica que existe uma variabilidade de matéria seca a ser explorada, justificando sua importância na seleção de genótipos superiores.

Segundo VASCONCELOS (2010), em condições ideais o caldo da cana madura e pronta para industrialização deve conter cerca 18% (180 g/Kg) de sólidos solúveis (BRIX), sendo $\pm 0,4$ de glicose, $\pm 0,2$ de frutose, e ± 14 % sacarose, ou seja, ± 4 , ± 2 e ± 140 g/Kg, respectivamente. Observa-se que neste trabalho os valores médios apresentaram-se abaixo do desejado considerando sólidos solúveis (BRIX), sacarose aparente (POL) e sacarose (SAC), em contrapartida maiores valores foram encontrados para glicose (GLI) e frutose (FRU). Entretanto, estes teores obtidos são condizentes com os valores encontrados em estudos de diversidade de germoplasma de cana-de-açúcar.

TAI e MILLER (2002), em estudo de diversidade, caracterizando os açúcares no caldo da cana, compararam variedades híbridas comerciais e quatro espécies do gênero *Sacharum*, *S. officinarum*, *S. sinense*, *S. barberi* e *S. robustum* e encontraram valores médios variando de 162,2 a 199,6 g/Kg para sólidos solúveis totais (BRIX), de 99,8 a 175,8 g/Kg para sacarose aparente (POL) e 81,0 a 187,2 g/Kg para sacarose (SAC), onde os valores mais altos foram encontrados para os cultivares comerciais, já para glicose (GLI) e frutose (FRU) encontraram a média de 2 g/Kg para cultivares melhorados e para cultivares exóticos 11,5 e 10,5 g/Kg, respectivamente. Mostraram ainda, que os valores médios para açúcares totais (AT) variaram de 102,6 a 191,1 g/Kg e para pureza (PRZ) de 60,96 a 87,74%.

Tabela 5. Estatística descritiva de 90 genótipos de cana-de-açúcar avaliados para 15 caracteres químicos e tecnológicos. Viçosa-MG, 2014.

Variáveis	Média	Mínimo	Máximo	CV
MS	28,63	2,41	49,71	21,11
GLI	7,20	1,47	16,21	47,16
FRU	9,62	1,93	24,00	57,99
SAC	83,03	44,34	106,39	19,18
AT	99,85	58,02	119,08	16,86
BRIX	175,06	97,60	218,40	13,88
POL	130,73	54,13	197,58	27,49
PRZ	73,99	32,01	98,56	19,72
ATR	105,06	55,03	158,12	23,85
FB	16,69	10,93	23,17	14,79
LIG	23,55	18,13	30,45	9,76
CEL	45,75	44,79	47,09	1,13
HEM	22,78	19,21	26,16	6,92
C	3,41	2,27	4,76	15,20
CRL	62,98	51,51	81,18	8,93

GLI: Glicose g/Kg; FRU: Frutose g/Kg; SAC: Sacarose g/Kg; AT: Açúcares Totais g/Kg; BRIX: Sólidos solúveis totais g/Kg; POL: sacarose aparente contida no caldo de cana g/Kg; PRZ: Porcentagem de Pureza; MS: porcentagem de Matéria Seca; FB: porcentagem de fibra; ATR: Açúcares totais recuperáveis Kg/Ton; LIG: porcentagem de lignina no bagaço; CEL: porcentagem de celulose no bagaço; HEM: porcentagem de Hemicelulose no bagaço; C: porcentagem de cinzas no bagaço; CRL: porcentagem da celulose cristalina.

Como o cálculo dos açúcares totais recuperáveis (ATR) depende da POL, PRZ e conseqüentemente das concentrações de glicose, frutose e sacarose, apresentou também média geral (105,06 kg/ton) abaixo do desejável, visto que para produtividade dos cultivares nacionais são encontrados na literatura valores médios entre 130 e 135 kg por tonelada de cana (GOLDEMBERG, 2008; WACLAWOVSKY et al., 2010; LOUREIRO et al., 2011). Contudo, no presente trabalho, verifica-se alta amplitude de variação para este caractere, encontrando-se genótipos com 55 a 158 kg/ton de ATR, o que é interessante para seleção de genótipos com maiores teores, visto que esta é uma das características mais importantes avaliadas para a qualidade da cana-de-açúcar, pois reflete no valor pago pela matéria prima.

Os materiais estudados apresentaram em média um alto teor de fibras (FB), 16,69%, e uma alta amplitude de variação, considerando que este teor varia em média de 8 a 18% (MARQUES et al., 2001; VASCONCELOS, 2010). Para os constituintes da fibra foram encontradas médias satisfatórias de acordo com os valores registrados por

Santos et al (2012), que mencionou variação de 32-48% de celulose, 19-24% de hemiceluloses, 23-32% de lignina. O teor de cinzas em média encontrado neste trabalho foi alto (3,41%), pois os valores médios encontrados na literatura variam em média de 1,9 a 3,4%.

Observando a cristalinidade da celulose, deparou-se com a média de 60%, mas constata-se a existência de genótipos com valores extremamente altos, chegando até a 81%, o que deve ser observado para seleção do material para produção de etanol celulósico, visto que esta característica dificulta o processo de hidrólise da celulose para liberação da glicose e conseqüentemente afeta o preço e o rendimento de produção (SANTOS et al., 2012a; SANTOS et al., 2014).

Verifica-se que o coeficiente de variação (CV) para as quinze variáveis estudadas teve uma amplitude de 1.12 a 57.99%, para celulose (CEL) e frutose (FRU), respectivamente. É importante destacar que este CV não é experimental, visto que os dados não foram obtidos de delineamento experimental. A variação observada segundo os coeficientes de variação nos dá uma tendência da utilidade destas características com relação ao seu poder de discriminação entre os genótipos (CRUZ et al., 2012.). Espera-se que as variáveis de maior CV sejam mais úteis na discriminação do material.

TAI e MILLER (2002), evidenciaram altos coeficientes de variação (CV) para os caracteres avaliados. Esses autores encontraram CV de 17,7 a 83,9 % para glicose e de 16,8 a 90,1% para frutose. Apresentaram também altos coeficientes de variação para sacarose (33,3%), açúcares totais (30,79%), sacarose aparente (33,6%) e pureza (23,7%). Os autores encontraram os menores coeficientes de variação para os cultivares comerciais, o que justifica os altos CV encontrados neste trabalho, pois por se tratar de um banco de germoplasma encontram-se cultivares exóticos, com valores extremos para os teores de açúcares.

4.2. Relação Entre Caracteres

4.2.1. Correlações Simples e Parciais

O estudo das relações existentes entre variáveis é de suma importância, pois a obtenção de ganhos genéticos e a definição dos melhores genótipos são, muitas vezes, dirigidas a um conjunto de variáveis agrônomicas e comerciais. Além disso, o conhecimento dessas relações permite que em uma variável principal, caracterizada por baixa herdabilidade e/ou dificuldades de medição, seja praticada a seleção com base em outra(s), possibilitando ao melhorista obter progressos mais rápidos em relação ao uso da seleção direta (FERREIRA et al., 2007).

As correlações simples são, algumas vezes, suficientes para esclarecer relações entre caracteres de interesse. Entretanto, esses caracteres podem estar relacionados com outros pela ação de múltipla interdependência e o uso de correlações parciais pode ajudar na determinação das associações de interesse (SNEDECOR e COCHRAN, 1974).

Quando se dispõe de grande número de características a serem consideradas no processo seletivo, é possível a ocorrência de inter-relação ou multicolinearidade. Neste trabalho foram avaliados 15 caracteres importantes o que justificou a realização do diagnóstico de multicolinearidade a partir da matriz de correlações fenotípicas. De acordo com a interpretação do número de condição (NC), segundo MONTGOMERY e PECK (1981), detectou-se a ocorrência de multicolinearidade severa no conjunto inicial de características ($NC = 1,7 \times 10^7$).

A existência de multicolinearidade severa pode ocasionar resultados prejudiciais e absurdos em muitos procedimentos biométricos que se fundamentam em inversões de matrizes de covariâncias. Nestes casos, os coeficientes de correlação simples podem produzir grandes equívocos a respeito da relação que há entre duas variáveis, podendo não ser uma medida real de causa e efeito (CRUZ et al., 2012.).

Neste trabalho, foi possível reconhecer que as variáveis açúcares totais (AT), açúcares totais recuperáveis (ATR) e sacarose aparente (POL) estão fortemente inter-relacionadas com outras. Isso se deve ao fato de que os AT foram obtidos do somatório de glicose (GLI), frutose (FRU) e sacarose (SAC); para o cálculo do ATR é necessário considerar todos os caracteres do caldo e o teor de fibras; e a POL, além de influenciar no cálculo do ATR, influencia também na pureza (PRZ) e sua obtenção é dependente dos sólidos solúveis (BRIX). Por isso, optou-se pelo descarte dessas três características e a realização de um novo diagnóstico de multicolinearidade, que resultou na redução do número de condições ($NC = 25,97$), representando uma fraca multicolinearidade, que, segundo MONTGOMERY e PECK (1981), não indica em problemas para as análises.

Daí a importância de se estimar a correlação parcial entre os caracteres selecionados após o diagnóstico de multicolinearidade, que é uma medida mais informativa sobre a relação entre as variáveis, após a remoção dos efeitos de outras variáveis sobre cada associação estudada. As correlações simples e parciais estão apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6. Coeficientes de correlações simples e parciais entre 15 caracteres químicos e tecnológicos, avaliados em 90 genótipos de cana-de-açúcar. Viçosa-MG, 2014.

	GLI	FRU	SAC	AT	BRIX	POL	PRZ	MS	FB	ATR	LIG	CEL	HEM	C	CRL
GLI		0,82**	-0,06	0,42**	-,55**	-0,21	-0,63**	-0,34**	0,07	-0,52**	-0,07	0,01	-0,07	-0,09	-0,03
FRU	0,78**		-0,21*	0,29**	-0,12	-0,47**	-0,57**	-0,16	0,04	-0,43**	0,03	-0,01	-0,09	-0,08	-0,03
SAC	0,46**	-0,38**		0,86**	0,33**	0,38**	0,33**	0,23*	-0,05	0,36**	0,02	0,07	-0,13	-0,02	-0,002
AT	-	-	-		0,23*	0,09	-0,004	0,09	-0,02	0,09	0,01	0,06	-0,17	-0,06	-0,02
BRIX	-0,21	0,19	0,35**	-		0,74**	0,35**	0,29**	-0,09	0,76**	0,19	0,02	0,26*	-0,28**	-0,24*
POL	-	-	-	-	-		0,88**	0,35**	-0,19	0,98**	0,19	0,05	0,23*	-0,09	-0,21*
PRZ	-0,38**	-0,02	0,33**	-	0,07	-		0,30**	-0,19	0,84**	0,13	0,06	0,16	0,05	-0,12
MS	-0,35**	0,26*	0,24*	-	0,09	-	-0,03		-0,10	0,36**	0,25*	0,04	0,09	0,07	-0,05
FB	-0,06	0,01	0,03	-	0,004	-	-0,18	-0,03		-0,37**	-0,21*	0,12	-0,04	0,07	0,03
ATR	-	-	-	-	-	-	-	-	-		0,22*	0,03	0,23*	-0,11	-0,21*
LIG	-0,05	0,11	-0,05	-	0,08	-	0,06	0,18	-0,19	-		0,09	0,14	-0,12	0,09
CEL	0,083	-0,04	0,004	-	0,03	-	0,09	0,02	0,15	-	0,11		0,01	0,07	0,08
HEM	0,23*	-0,19	-0,34**	-	0,29**	-	0,19	0,09	0,03	-	0,07	-0,01		-0,09	0,002
C	-0,06	0,04	0,04	-	-0,31**	-	0,07	0,13	0,04	-	-0,10	0,07	-0,01		0,06
CRL	-0,15	0,05	0,17	-	-0,26*	-	-0,18	-0,06	-0,01	-	0,15	0,09	0,12	-0,01	

** , * : Significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

Coeficiente de correlação simples: acima da diagonal principal

Coeficientes de correlação parcial, com eliminação da POL, AT e ATR: abaixo da diagonal principal.

GLI: Glicose g/Kg; FRU: Frutose g/Kg; SAC: Sacarose g/Kg; AT: Açúcares Totais g/Kg; BRIX: Sólidos solúveis totais g/Kg; POL: sacarose aparente contida no caldo de cana g/Kg; PRZ: Porcentagem de Pureza; MS: porcentagem de Matéria Seca; FB: porcentagem de fibra; ATR: Açúcares totais recuperáveis Kg/Ton; LIG: porcentagem de lignina no bagaço; CEL: porcentagem de celulose no bagaço; HEM: porcentagem de Hemicelulose no bagaço; C: porcentagem de cinzas no bagaço; CRL: porcentagem da celulose cristalina.

Considerando a dependência das variáveis, e conseqüentemente os altos coeficientes de correlação simples apresentados, podemos dizer que quanto maior o teor de sólidos solúveis (BRIX) no caldo maior será a sacarose aparente (POL), e conseqüentemente maior será a pureza (PRZ), que é a razão entre sacarose aparente e sólidos solúveis (POL/BRIX). Neste caso, maior será o valor dos açúcares totais recuperáveis (ATR), pois sua obtenção é dependente da PRZ.

Os açúcares totais recuperáveis (ATR) apenas não se correlacionaram de forma significativa com os açúcares totais (AT), celulose (CEL) e cinzas (C). Dentre as demais, destacaram-se as correlações com sacarose aparente (POL), sólidos solúveis (BRIX) e pureza (PRZ), que estão entre as mais altas desta análise, 0,98, 0,84 e 0,76,

respectivamente. Resultados que comprovam que estas variáveis são altamente inter-relacionadas.

A correlação simples e parcial entre sólidos solúveis (BRIX) e sacarose (SAC) foi significativa a 1 % de probabilidade, ou seja, quanto maior o BRIX maior o teor de sacarose, que é a variável de maior interesse na qualidade do caldo. Por outro lado, observa-se correlações significativas de SAC com as variáveis glicose (GLI) e frutose (FRU), sendo positiva e negativa respectivamente, indicando que quanto maior o teor de SAC maior a concentração de GLI e menor de FRU no caldo.

A correlação simples de matéria seca (MS) com sólidos solúveis (BRIX), sacarose aparente (POL), pureza (PRZ) e açúcares totais recuperáveis (ATR) foram significativas. Porém, na correlação parcial a MS com BRIX e PRZ não foram significativas, confirmando que ao se remover o efeito das variáveis POL e ATR sobre esta análise, os coeficientes de correlações foram alterados.

Observa-se ainda que a correlação simples da matéria seca (MS) com os açúcares totais (AT) e frutose (FRU) não foram significativas. Entretanto, os coeficientes de correlação parcial da matéria seca com glicose (GLI), frutose (FRU) e sacarose (SAC), apresentaram-se significativos e maiores, -0,35, 0,26 e 0,24, respectivamente. Isso pode indicar que a presença de AT na análise simples estava influenciando os coeficientes de correlação da MS com GLI, FRU e SAC, que com a correlação parcial indicaram que quanto maior o teor de MS maiores serão os teores de FRU e SAC e menor o teor de GLI presentes no caldo.

A variável fibra (FB) se correlacionou de forma significativa apenas com lignina (LIG) e açúcares totais recuperáveis (ATR), a 5% de probabilidade, na correlação simples, e por isso não se comportou como uma variável eficiente para seleção indireta das demais avaliadas neste trabalho.

Dos componentes lignocelulósicos, a variável hemicelulose (HEM) apresentou correlação interessante com os açúcares do caldo, visto que na correlação simples se correlacionou positiva e significativamente com sólidos solúveis (BRIX), sacarose aparente (POL) e açúcares totais recuperáveis (ATR). Após a eliminação destas duas últimas variáveis, na correlação parcial, a HEM manteve a correlação significativa com BRIX, indicando que quanto maior o teor de BRIX no caldo maior o teor de hemicelulose no bagaço da cana. Desta forma, é possível fazer seleção indireta de HEM considerando os valores de BRIX.

É importante observar que os teores de glicose (GLI) e sacarose (SAC) também influenciam na hemicelulose (HEM), pois esta se correlacionou significativamente, de

forma positiva com GLI e negativa com SAC, indicando que o teor de HEM é maior em genótipos com maiores teores de GLI e menor quanto maior o teor de SAC.

Já as variáveis lignina (LIG) e celulose (CEL) não apresentaram correlação parcial significativa com nenhuma das características avaliadas. Na correlação simples, apenas a LIG se correlacionou de forma significativa, a 5% de probabilidade, com fibra (FB), matéria seca (MS) e açúcares totais recuperáveis (ATR), apresentando coeficientes de -0,21, 0,25 e 0,22 respectivamente. Estes resultados poderiam indicar que quanto maior o teor de lignina, menor o teor de fibras e maior os teores de açúcares totais recuperáveis e de matéria seca, mas considerando a multicolinearidade e que este coeficiente de correlação simples não é o mais apropriado, estes valores podem estar superestimados devido a influência das variáveis inter-relacionadas.

As variáveis cinzas (C) e cristalinidade (CRL) se correlacionaram negativa e significativamente com BRIX, tanto para a análise simples, como para parcial. Estes resultados indicam que quanto maior o BRIX menores serão os valores para estes caracteres, o que é vantajoso, uma vez que altos teores de cinzas contribuem para a redução do poder calorífico, visto que os materiais minerais não participam do processo de combustão (GONÇALVES et al., 2009; BRAND, 2010; PAULA et al., 2011; PROTÁSIO et al., 2011) e a estrutura cristalina da celulose dificulta o processo de hidrólise e conseqüentemente a liberação de glicose para a obtenção do etanol celulósico (SANTOS et al., 2012a).

É de grande importância a utilização do caráter BRIX na produção de açúcar por área, pois segundo JACKSON, (2005), o baixo ganho genético para o conteúdo de açúcar é ocasionado pela seleção focada na produção de biomassa. Sendo que outro fator importante é que a maioria dos alelos favoráveis para o conteúdo de açúcar foi fixada nas atuais variedades e que, o efeito dos genes que contribuem para o nível de conteúdo de açúcar é negativamente correlacionado com a produção de biomassa, mas é essencial a manutenção de ambos os caracteres na avaliação da diversidade genética e demais avaliações realizadas em programas de melhoramento de cana-de-açúcar.

Alguns autores relataram que o caráter BRIX apresenta alta herdabilidade, além de ser uma variável de fácil medição o que proporciona vantagens de sua utilização na seleção indireta de caracteres correlacionados (SILVA et al., 2002; FERREIRA et al., 2005; LEITE et al., 2006; MATSUOKA et al., 2005).

Reconhecida a importância da variável BRIX para caracterizar a qualidade da cana-de-açúcar e visto que ela é utilizada para determinar os principais caracteres tecnológicos que caracterizam o caldo (POL, PRZ e ATR) e se correlacionou de forma

significativa com outras variáveis importantes estudadas (SAC, HEM, C e CRL), neste trabalho ela pode ser considerada a principal característica para ser utilizada na seleção indireta de caracteres correlacionados. Desta forma, selecionando genótipos com alto teor de BRIX e, portanto altos teores de POL, PRZ e ATR, indiretamente selecionará maiores teores de sacarose (SAC) e menores valores para cristalinidade (CRL) e cinzas (C) no bagaço. Essas correlações são desejáveis para estes caracteres, o que é importante tanto para se obter alta qualidade do caldo, como para a eficiência da biomassa na produção de bioenergia.

O BRIX também se correlacionou significativamente com a hemicelulose (HEM), o que é importante na produção de etanol celulósico. Considerando a estrutura da parede celular, em que as microfibrilas de celulose na região amorfa são envolvidas por hemiceluloses e lignina, quanto maior o teor de hemicelulose, menor será a região de celulose cristalina, facilitando o processo de hidrólise e, conseqüentemente, garantindo maior eficiência na produção de etanol celulósico.

É importante lembrar que a correlação calculada neste trabalho foi a fenotípica, que é mensurada diretamente a partir de medidas de dois caracteres em certo número de indivíduos de uma população. Essa correlação tem causas genéticas e ambientais, porém só as genéticas são de natureza herdável, podendo ser utilizada em programas de melhoramento genético. Portanto é indispensável para trabalhos futuros, distinguir e quantificar o grau de associação genética e ambiental entre os caracteres.

4.2.2. Análise de trilha

Apesar da grande importância da correlação simples e parcial na quantificação da magnitude e direção das influências de fatores na determinação de caracteres complexos, estas não dão a exata importância relativa dos efeitos diretos e indiretos destes fatores sobre uma variável básica, para estes fins é indicada a análise de trilha (CRUZ et al., 2012.). Neste trabalho foi considerada como variável principal a matéria seca (MS), que é composta pela fibra (FB) e sólidos solúveis (BRIX).

Em presença de multicolinearidade, as variâncias associadas aos estimadores dos coeficientes de trilha podem atingir valores excessivamente altos, tornando-se pouco confiáveis. Além disso, as estimativas dos parâmetros podem assumir valores absurdos ou sem nenhuma coerência com o fenômeno biológico estudado (CARVALHO ET AL., 1999; CRUZ e CARNEIRO, 2003). Por isso, a análise de trilha foi feita após o diagnóstico de multicolinearidade e eliminação das variáveis: sacarose aparente (POL),

açúcares totais (AT) e açúcares totais recuperáveis (ATR). O resultado desta análise está apresentado na Tabela 7.

Na interpretação de uma análise de trilha deve-se levar em consideração alguns pontos essenciais, conforme indicado por SINGH e CHANDHARY, (1979), citado por VENCOVSKY et al. (1992). Se o coeficiente de correlação entre a variável explicativa e a variável principal for igual ao seu efeito direto, em magnitude e sinal, esta correlação explica a verdadeira associação existente.

De maneira geral, para a maior parte das variáveis, frutose (FRU), fibra (FB), celulose (CEL) hemicelulose (HEM), cinzas (C) e cristalinidade (CRL), a correlação não foi significativa, apresentando também baixos valores para efeitos direto e indireto sobre a variável principal. Para as correlações significativas constatou-se o mesmo sinal das correlações e os efeitos diretos, exceto para pureza (PRZ). As magnitudes das correlações no geral foram comparativamente baixas e não superaram a estimativa do efeito residual.

Para pureza (PRZ) a correlação com a variável básica matéria seca (MS) foi positiva (0,3016) e significativa, porém apresenta o efeito direto negativo (-0,0385), desta forma não há relação de causa e efeito. Neste caso, segundo VENCOVSKY et al, (1992), o caráter auxiliar não é o principal determinante das alterações na variável básica e os fatores indiretos devem ser considerados simultaneamente no processo de seleção, por exemplo, pelo efeito direto via glicose (0,4098) que se apresentou até mesmo maior que o valor da correlação.

Para as variáveis sacarose (SAC) e glicose (GLI) as correlações foram significativas. Os valores para os efeitos diretos foram maiores que os coeficientes de correlação total, destacando que o efeito direto de GLI com a variável principal, foi o maior valor apresentado nesta análise de trilha (-0,6509) e ainda assim foi menor que o valor do efeito da variável residual (0,84), evidenciando ineficiência da análise.

A variável lignina (LIG) possui correlação positiva (0,2449) e significativa com efeito direto de 66,96% para a produção de matéria seca.

A variável BRIX apresentou correlação positiva (0,2983) e significativa, com efeito direto de 36%, sendo que a maior contribuição foi apresentada pelo efeito indireto via glicose (GLI) de aproximadamente 45%.

Este método não foi eficiente para verificar as relações diretas e indiretas entre os 11 caracteres estudados sobre a variável principal: matéria seca (MS). Fato evidenciado pelo baixo valor de coeficiente de determinação do modelo ($R^2 = 0,29$) e o alto efeito da variável residual (0,84), o que reflete numa baixa contribuição das

variáveis do modelo para a produção de matéria seca. Com base neste resultado fica claro que estão envolvidas outras variáveis, não analisadas neste estudo, na obtenção das estimativas da matéria seca, sendo, portanto, necessário em experimentos futuros, avaliar outros tipos de variáveis que possam explicar a matéria seca (MS).

Tabela 7. Análise de trilha fenotípica dos componentes químicos e tecnológicos da cana-de-açúcar: glicose (GLI), frutose (FRU), sacarose (SAC), sólidos solúveis totais (BRIX), pureza (PRZ), fibra (FB), lignina (LIG), celulose (CEL), hemicelulose (HEM), cinzas (C) e cristalinidade (CRL) sobre a variável principal matéria seca (MS). Viçosa-MG, 2014.

Caracteres	Estimativa
GLI	
Efeito Direto Sobre MS	-,65088055
Efeito Indireto Via FRU	,35422710
Efeito Indireto Via SAC	-,01549225
Efeito Indireto Via BRIX	-,02225758
Efeito Indireto Via PRZ	,02420740
Efeito Indireto Via FB	-,00188805
Efeito Indireto Via LIG	-,01191684
Efeito Indireto Via CEL	,00022112
Efeito Indireto Via HEM	-,00539271
Efeito Indireto Via C	-,01095702
Efeito Indireto Via CRL	,00164439
Total	-0,338485
FRU	
Efeito Direto Sobre MS	,43092954
Efeito Indireto Via GLI	-,53502837
Efeito Indireto Via SAC	-,05609244
Efeito Indireto Via BRIX	-,01321729
Efeito Indireto Via PRZ	,02202408
Efeito Indireto Via FB	-,00114543
Efeito Indireto Via LIG	,00546234
Efeito Indireto Via CEL	-,00015596
Efeito Indireto Via HEM	-,00697490
Efeito Indireto Via C	-,00923926
Efeito Indireto Via CRL	,00179869
Total	-0,161639
SAC	
Efeito Direto Sobre MS	,26408002
Efeito Indireto Via GLI	,03818391
Efeito Indireto Via FRU	-,09153245
Efeito Indireto Via BRIX	,03512456
Efeito Indireto Via PRZ	-,01270886
Efeito Indireto Via FB	,00151212
Efeito Indireto Via LIG	,00302931
Efeito Indireto Via CEL	,00112877
Efeito Indireto Via HEM	-,01075742

Efeito Indireto Via C	-,00222628
Efeito Indireto Via CRL	,00011832
Total	0,225952

BRIX

Efeito Direto Sobre MS	,10699835
Efeito Indireto Via GLI	,13539487
Efeito Indireto Via FRU	-,05323186
Efeito Indireto Via SAC	,08669008
Efeito Indireto Via PRZ	-,0132524
Efeito Indireto Via FB	,00287049
Efeito Indireto Via LIG	,03100829
Efeito Indireto Via CEL	,00038997
Efeito Indireto Via HEM	,02064064
Efeito Indireto Via C	-,03306022
Efeito Indireto Via CRL	,01384480
Total	0,298293

PRZ

Efeito Direto Sobre MS	-,03845087
Efeito Indireto Via GLI	,40977291
Efeito Indireto Via FRU	-,24682998
Efeito Indireto Via SAC	,08728426
Efeito Indireto Via BRIX	,03687784
Efeito Indireto Via FB	,00555479
Efeito Indireto Via LIG	,02058839
Efeito Indireto Via CEL	,00099507
Efeito Indireto Via HEM	,01321477
Efeito Indireto Via C	,00563854
Efeito Indireto Via CRL	,00693628
Total	0,301582

FB

Efeito Direto Sobre MS	-,02882747
Efeito Indireto Via GLI	-,04262942
Efeito Indireto Via FRU	,01712255
Efeito Indireto Via SAC	-,01385205
Efeito Indireto Via BRIX	-,01065436
Efeito Indireto Via PRZ	,00740914
Efeito Indireto Via LIG	-,03502698
Efeito Indireto Via CEL	,00203502
Efeito Indireto Via HEM	-,00311354
Efeito Indireto Via C	,00802806
Efeito Indireto Via CRL	-,00154594
Total	-0,101055

LIG

Efeito Direto Sobre MS	,16399474
Efeito Indireto Via GLI	,04729689
Efeito Indireto Via FRU	,0143534
Efeito Indireto Via SAC	,00487809
Efeito Indireto Via BRIX	,02023135
Efeito Indireto Via PRZ	-,00482724
Efeito Indireto Via FB	,00615714

Efeito Indireto Via CEL	,00165038
Efeito Indireto Via HEM	,01085419
Efeito Indireto Via C	-,01403643
Efeito Indireto Via CRL	-,00561052
Total	0,244942

CEL

Efeito Direto Sobre MS	,01720798
Efeito Indireto Via GLI	-,00836382
Efeito Indireto Via FRU	-,00390551
Efeito Indireto Via SAC	,01732259
Efeito Indireto Via BRIX	,0024248
Efeito Indireto Via PRZ	-,00222346
Efeito Indireto Via FB	-,00340914
Efeito Indireto Via HEM	,00121271
Efeito Indireto Via C	,00758289
Efeito Indireto Via CRL	-,00481745
Total	0,03876

HEM

Efeito Direto Sobre MS	,08044492
Efeito Indireto Via GLI	,04363243
Efeito Indireto Via FRU	-,03736331
Efeito Indireto Via SAC	-,03531384
Efeito Indireto Via BRIX	,02745374
Efeito Indireto Via PRZ	-,00631636
Efeito Indireto Via FB	,00111574
Efeito Indireto Via LIG	,02212732
Efeito Indireto Via CEL	,00025941
Efeito Indireto Via C	-,01092179
Efeito Indireto Via CRL	-,00013426
Total	0,084984

C

Efeito Direto Sobre MS	,11626102
Efeito Indireto Via GLI	,06134224
Efeito Indireto Via FRU	-,03424597
Efeito Indireto Via SAC	-,00505687
Efeito Indireto Via BRIX	-,03042626
Efeito Indireto Via PRZ	-,00186483
Efeito Indireto Via FB	-,00199059
Efeito Indireto Via LIG	-,01979941
Efeito Indireto Via CEL	,00112236
Efeito Indireto Via HEM	-,00755716
Efeito Indireto Via CRL	-,00361952
Total	0,074165

CRL

Efeito Direto Sobre MS	-,05794379
Efeito Indireto Via GLI	,01847134
Efeito Indireto Via FRU	-,01337691
Efeito Indireto Via SAC	-,00053925
Efeito Indireto Via BRIX	-,02556565
Efeito Indireto Via PRZ	,00460284
Efeito Indireto Via FB	-,00076912
Efeito Indireto Via LIG	,01587912

Efeito Indireto Via CEL	,00143067
Efeito Indireto Via HEM	,00018639
Efeito Indireto Via C	,00726236
Total	-,050362

Coefficiente de Determinação: 0,29277499

Efeito da Variável Residual: 0,84096671

4.3. Diversidade Genética

Nos estudos de diversidade genética as medidas de dissimilaridade mais utilizadas são a distância euclidiana média padronizada ou a generalizada de Mahalanobis, sendo que a segunda oferece a vantagem de levar em consideração a existência de correlações entre os caracteres analisados por meio da matriz de variâncias e covariâncias residuais, porém, nestes estudos, necessita de experimentos com repetições (CRUZ et al., 2011). Como o banco de germoplasma estudado apresenta 90 genótipos semeados em parcelas simples, sem repetições, foi viável a utilização da distância euclidiana média padronizada.

Os principais inconvenientes da distância euclidiana é o fato de ela ser alterada com o número de caracteres estudados, com a mudança de escala nas medições e não levar em conta o grau de correlação entre eles. Como neste trabalho foram caracterizadas 15 variáveis, quantificadas em diferentes medidas (g/Kg, Kg/Ton e porcentagem), para contornar esses problemas, foi calculada a distância euclidiana média padronizada. Visto que, a utilização da média evita que o maior número de características avaliadas aumente a distância euclidiana e a padronização dos dados tanto impede que as unidades escolhidas para medir as variáveis afetem na similaridade, como fazem com que as variáveis contribuam igualmente na avaliação da similaridade entre os indivíduos (CRUZ et al., 2011).

A partir da matriz de dissimilaridade de dimensão 90 x 90 obtida, foi possível estimar os genótipos mais e menos similares, que estão representados na Tabela 8.

Tabela 8. Dez genótipos mais e menos similares obtidos a partir da matriz de Distância Euclidiana Média Padronizada para 90 genótipos de cana-de-açúcar, avaliados com base em 15 caracteres químicos e tecnológicos. Viçosa-MG, 2014.

N°	Menos similares										Mais similares									
1	20	54	33	90	87	40	80	37	45	59	70	12	49	68	2	64	21	66	24	42
2	20	54	87	80	33	90	40	82	81	74	86	24	8	49	23	78	19	57	15	1
3	54	33	87	80	20	90	81	40	51	74	24	21	1	70	8	2	19	49	12	42

4	54	87	20	33	80	74	40	82	59	81	10	15	23	2	64	24	68	25	79	21
5	33	59	74	54	37	20	90	60	87	51	18	14	22	61	16	34	62	69	30	42
6	20	54	40	87	14	33	46	18	82	90	68	28	66	64	86	65	1	44	79	70
7	20	80	54	18	87	14	16	33	51	5	78	2	89	73	9	49	8	86	38	32
8	20	54	87	80	90	33	40	14	81	45	2	24	19	1	7	78	49	55	84	3
9	33	54	59	20	74	80	87	51	60	58	76	57	89	7	34	2	86	15	69	85
10	20	54	87	33	90	40	80	82	74	81	25	86	2	64	1	23	15	79	21	4
11	20	54	37	4	3	18	40	90	26	19	81	63	61	31	44	88	50	29	69	52
12	20	54	90	33	40	87	80	46	45	37	70	1	72	49	8	29	24	2	84	68
13	20	14	18	16	5	54	4	46	76	22	63	52	84	48	29	51	36	56	60	59
14	33	59	37	74	54	20	60	90	26	51	5	16	61	18	22	69	34	62	30	15
15	54	33	20	87	74	90	80	59	63	81	75	32	57	23	21	79	34	64	2	22
16	33	54	59	37	74	20	90	60	48	63	61	14	5	62	69	22	34	18	42	15
17	20	54	40	87	90	82	33	53	80	59	1	6	24	2	66	10	12	15	8	68
18	33	74	37	59	20	54	90	87	60	51	5	22	14	16	61	62	34	42	15	30
19	20	54	33	87	90	80	74	40	51	81	2	21	8	49	10	86	3	1	24	42
20	17	19	10	43	83	4	12	25	8	18	40	82	26	53	71	69	36	90	47	46
21	54	33	87	20	90	80	74	59	81	51	64	15	75	3	1	2	49	19	32	22
22	33	54	74	87	59	20	90	60	80	37	5	15	34	21	18	61	75	14	16	42
23	20	54	87	33	82	90	80	74	81	40	15	2	57	86	79	10	75	24	32	78
24	54	20	87	33	80	90	40	82	81	53	2	3	1	8	21	15	23	86	49	70
25	54	20	87	33	90	80	81	74	82	40	79	10	86	75	64	30	56	32	15	41
26	14	18	5	16	80	87	17	54	22	33	71	52	84	32	85	56	36	28	7	37
27	54	20	18	33	90	87	46	14	40	5	49	70	68	29	32	1	66	64	89	86
28	20	18	14	54	5	16	46	22	87	19	6	68	65	29	44	71	52	86	77	32
29	20	54	87	14	90	18	46	33	16	5	49	32	86	79	70	52	28	73	78	43
30	20	54	33	87	90	74	80	59	37	58	34	79	86	25	57	75	41	61	85	32
31	20	54	33	37	90	87	40	74	59	7	65	67	64	61	39	66	42	1	32	29
32	54	20	33	87	80	90	14	74	18	81	79	75	85	64	15	49	86	39	57	68
33	18	5	14	22	16	3	19	20	4	21	74	51	59	63	90	48	60	58	44	37
34	33	20	74	59	54	87	60	80	37	90	61	62	69	57	15	32	30	75	22	39
35	20	87	14	18	54	33	5	16	81	80	41	79	75	32	56	39	52	67	38	64
36	33	14	87	20	80	18	54	5	4	16	52	32	56	75	38	84	15	47	79	35
37	18	14	5	16	22	20	10	19	12	62	26	44	52	35	47	90	7	40	36	45
38	20	87	80	33	74	54	14	16	59	17	41	52	56	79	34	78	85	35	32	57
39	20	33	54	87	74	17	90	80	51	18	67	73	32	42	89	85	61	49	35	79
40	17	10	19	4	12	18	14	5	3	72	47	53	45	36	46	71	50	26	67	90
41	20	87	80	54	14	33	74	18	81	16	79	56	32	38	35	75	57	78	73	86
42	33	20	54	90	87	74	80	37	51	59	39	85	32	49	61	1	21	15	69	31

43	20	54	18	14	40	46	16	5	82	87	29	48	83	88	28	44	86	60	73	78
44	20	18	14	5	16	54	22	3	82	40	83	88	67	66	52	28	73	32	57	29
45	18	3	19	12	5	4	14	17	72	20	67	40	44	36	47	46	32	57	50	39
46	12	33	10	72	74	59	17	43	25	48	47	67	69	53	34	45	50	40	62	39
47	4	10	25	19	18	20	17	12	14	3	50	53	46	52	40	36	58	54	67	35
48	20	18	14	16	5	22	46	54	4	17	78	43	29	13	52	28	59	60	63	56
49	54	20	33	87	90	80	40	18	51	81	89	86	70	32	85	2	29	42	1	73
50	4	3	20	19	10	25	17	24	18	21	81	47	53	71	58	82	67	52	87	44
51	18	14	19	5	20	4	3	16	9	76	58	74	63	60	65	59	81	80	33	13
52	20	14	18	16	5	87	54	4	80	33	84	38	36	71	32	56	44	29	28	35
53	17	4	10	12	19	3	24	25	72	33	82	47	50	62	40	69	34	67	39	46
54	4	10	19	3	25	12	18	21	17	5	47	90	50	40	58	53	51	46	87	81
55	20	54	14	18	90	87	5	80	33	16	73	83	72	49	84	52	39	44	8	88
56	87	20	54	80	14	33	16	18	81	82	79	75	41	32	38	35	52	78	64	36
57	20	54	87	33	59	74	80	90	82	77	15	32	86	34	75	79	2	41	64	23
58	19	14	18	5	20	4	3	9	25	10	81	51	50	47	63	52	80	65	44	71
59	18	14	5	16	22	4	20	9	19	17	74	60	48	51	77	13	33	63	52	58
60	20	14	18	5	16	4	22	9	76	19	59	74	51	29	88	43	83	52	48	63
61	33	20	54	74	59	37	90	87	60	51	34	62	69	16	39	42	5	31	14	15
62	33	74	59	17	37	20	60	54	90	4	61	34	69	39	16	53	5	82	42	85
63	20	18	4	14	5	16	22	19	3	76	13	51	52	81	58	84	74	60	48	11
64	54	20	33	87	90	80	40	81	74	63	68	32	86	75	79	21	66	15	49	1
65	20	14	19	18	5	54	9	3	4	16	28	31	68	71	66	6	77	51	44	52
66	20	54	33	87	40	18	90	14	82	53	68	64	44	1	86	31	32	2	6	67
67	20	33	18	17	54	12	3	14	13	5	39	32	44	31	35	69	89	34	57	61
68	54	20	33	87	90	40	80	14	18	46	64	66	32	6	86	28	85	49	1	70
69	33	59	54	74	17	60	20	37	90	51	34	61	62	89	67	42	32	57	85	39
70	54	20	33	90	87	80	46	40	14	45	12	1	49	68	29	86	85	64	32	27
71	14	18	5	19	4	17	3	22	16	10	52	26	28	50	84	85	65	67	44	38
72	20	54	40	14	90	46	18	5	22	4	55	12	70	84	1	28	29	49	52	88
73	20	54	87	18	14	80	90	33	5	16	39	78	86	55	49	32	83	79	89	41
74	18	5	14	22	16	19	4	9	20	62	59	51	60	63	33	65	28	58	48	44
75	20	87	33	54	80	74	90	81	59	63	79	32	15	56	64	57	21	41	35	86
76	33	54	59	51	20	74	87	80	60	63	9	15	89	42	85	21	32	69	2	68
77	14	18	20	5	54	16	46	22	17	19	28	65	59	71	68	52	35	26	85	31
78	20	87	54	80	18	14	81	16	90	33	7	73	86	79	2	41	56	49	32	48
79	20	87	54	33	80	90	81	74	14	82	41	56	75	32	86	25	64	78	85	15
80	3	19	20	4	18	5	25	9	12	24	81	87	58	51	50	65	11	88	31	74
81	19	4	3	25	20	10	18	21	5	22	87	50	58	80	11	63	51	47	71	44

82	17	4	10	33	19	25	23	24	37	3	53	69	50	62	71	61	47	42	67	85
83	20	18	14	5	22	16	3	4	54	40	88	44	73	55	43	39	29	67	60	52
84	14	20	18	16	5	54	80	4	33	87	52	55	71	26	13	36	70	8	38	72
85	33	54	87	20	80	90	74	59	51	37	32	49	79	42	39	68	89	64	86	41
86	20	54	87	33	90	80	40	82	81	18	2	64	49	79	32	57	78	73	89	68
87	4	19	25	10	3	18	17	22	5	21	81	80	50	58	11	47	53	63	82	51
88	20	18	14	5	54	22	3	4	16	40	83	44	73	43	29	67	55	39	60	28
89	54	20	33	87	80	90	51	17	58	18	49	32	86	39	85	73	7	69	57	78
90	18	19	5	14	12	10	3	17	25	16	54	33	47	40	37	53	58	71	51	59

4.3.1 Análises de Agrupamento

Com a utilização do método de otimização de Tocher a partir da matriz de dissimilaridade, os 90 genótipos avaliados foram divididos em oito grupos distintos, apresentados na Tabela 9. Observa-se que 72,2% dos genótipos se concentraram no primeiro grupo, sendo que os demais grupos reuniram de 1,1 a 12,2% dos genótipos. A entrada de um genótipo em um grupo sempre aumenta o valor médio da distância dentro do grupo. Assim pode-se tomar a decisão de incluir um genótipo em um grupo por meio da comparação entre o acréscimo no valor médio da distância dentro do grupo e um nível máximo permitido, que pode ser estabelecido arbitrariamente, neste caso foi adotado o valor máximo da medida de dissimilaridade encontrado no conjunto das menores distâncias envolvendo cada progenitor.

A análise do dendrograma obtido pelo método de agrupamento hierárquico UPGMA, permite verificar o grau de similaridade entre os progenitores, progenitores e grupos similares, ou entre dois grupos distintos. Neste método os grupos são formados tendo por base as mudanças acentuadas de níveis, associado ao conhecimento prévio que o pesquisador tem de seu material. Como o número de genótipos estudados foi elevado, houve certa dificuldade em se definir o número de grupos com a análise visual das ramificações do dendrograma. Com a formação dos grupos pelo método de otimização foi possível um conhecimento prévio do material a fim de se fazer comparação com o método do UPGMA. É importante salientar que diferentes métodos podem gerar agrupamentos divergentes e a formação dos grupos pode estar mais evidente em uma técnica do que em outra.

De acordo com o dendrograma (Figura 12), os genótipos foram reunidos em oito grupos distintos considerando-se o corte pouco acima de 60% da distância genética relativa, conforme o critério utilizado pelo método de MOJENA (1977) que sugeriu um procedimento baseado no tamanho relativo dos níveis de fusões (distâncias) no

dendrograma no qual os pontos de alta mudança de nível são considerados delimitadores do número de genótipos para determinado grupo.

Tabela 9. Formação dos grupos de dissimilaridade pelo método de otimização de Tocher a partir das distâncias Euclidianas Médias Padronizadas estimadas para 90 genótipos de cana-de-açúcar, avaliados para 15 caracteres químicos e tecnológicos. Viçosa-MG, 2014.

GRUPO	GENÓTIPOS
1	RB037064 RB9438 IAC862210 RB027053 RB928064 RB037174 SP911049 RB925211 RB001914 RB988090 RB001915 RB037041 RB008041 NG57-6 SP88819 RB037142 RB037158 RB998211 RB985523 NA5676 SP701143 RB037231 SP80-1816 RB985571 SP775181 RB008029 RB047128 RB975019 RB037210 RB988137 RB965911 RB037229 RB00507 CO285 RB975947 SP80-3280 RB047031 RB767647 RB037133 RB037000 UVA RB001913 RB835054 RB946903 RB037213 RB988082 SP79-1011 Q124 RB037228 RB987955 RB008300 SP83-2847 RB988105 RB977514 RB739359 RB037109 RB947501 RB997671 RB001906 RB037002 RB72454 RB037055 RB93509 RB037189 RB975138
2	RB00416 RB945961 RB855046 MARIA PELADINHA
3	RB008026 RB008296 RB987667 RB863129 CB49260 RB037060 SP813250 RB988079 RB988078 RB987649 RB918625
4	SP791011 RB997504 RB047157 SP711406 RB008340
5	RB00509 RB931555
6	RB037049
7	CB4915
8	28NG289

O método hierárquico do UPGMA agrupou os 90 genótipos de cana-de-açúcar de forma semelhante ao método de otimização de Tocher quanto à dissimilaridade, visto que em ambas as técnicas formaram-se oito grupos e o maior número de genótipos se concentraram no primeiro grupo. No método do UPGMA a distância mínima entre os genótipos está incluída no dendrograma, para estes genótipos a menor distância é verificada entre os genótipos RB037064 e RB9438, que se encontram também no grupo 1 do método de otimização.

Os genótipos 28NG289 e RB037049 encontram-se em grupos isolados para ambos os métodos. Todos os genótipos que formam o grupo 4 pelo método de Tocher se encontram em um mesmo grupo formado pelo UPGMA. O mesmo ocorre para o grupo 2, que também tem seus 4 genótipos reunidos no mesmo grupo no dendrograma. Para os maiores grupos formado a maioria dos genótipos estudados coincidem de estar

reunidos pelos dois métodos em mesmos grupos. Já o genótipo CB4915 está em grupo individual pelo método de Tocher e para o método hierárquico ele se reúne com o RB918625. O contrário ocorre com o genótipo RB931555 que está isolado no dendrograma e pelo método de Tocher se agrupa com o RB00509.

Com base nos resultados obtidos pelo agrupamento de Tocher e pelo UPGMA e no desempenho dos clones estudados, poderiam ser indicados cruzamentos entre os clones mais divergentes e com melhores médias para os caracteres importantes, pois segundo CARPENTIERIPIPOLO et al. (2000), a identificação de genótipos com base somente na divergência sem considerar o seu desempenho, pode não ser uma boa alternativa, sendo recomendado o uso de indivíduos divergentes e com características agrônômicas importantes. A similaridade encontrada entre esses dois métodos de agrupamento reforça as possíveis recomendações de cruzamento entre os genótipos avaliados.

O número de grupos formados, por ambos os métodos, foi relativamente pequeno, sendo que a maior parte dos indivíduos se reuniu no mesmo grupo (72%), enquanto um número reduzido de indivíduos (1% a 12%) formaram os demais grupos. Esse resultado é comum neste tipo de análise, onde os primeiros grupos concentram a maior parte dos indivíduos e os últimos grupos concentram menor número, como pode ser observado em vários trabalhos com diferentes culturas (SHIMOYA et al., 2002; MARCHIORO et al., 2003; CHIORATO et al., 2005; MORAES et al., 2005; SOUZA et al., 2005; SUDRÉ et al., 2005; VILELA et al., 2005). Porém a alta porcentagem de indivíduos em apenas um grupo pode indicar uma baixa divergência encontrada.

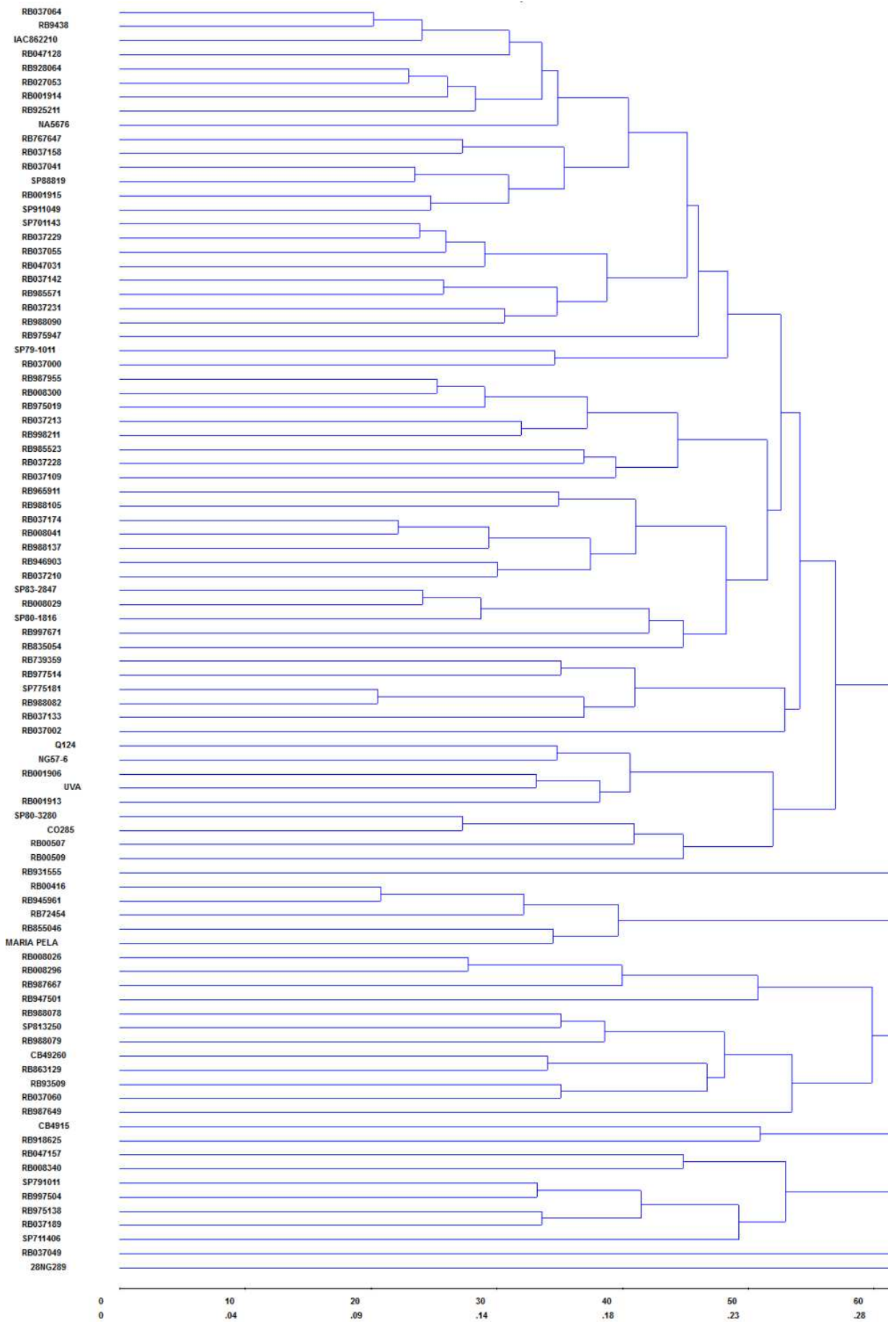


Figura 12. Formação dos grupos de dissimilaridade pelo método aglomerativo hierárquico, UPGMA, a partir das distâncias Euclidianas Médias Padronizadas.

4.3.2 Análises por Componentes Principais

Em geral os primeiros componentes principais em estudos da diversidade genética têm sido utilizados quando envolvem pelo menos 80% da variação total. No caso em que esse limite não é atingido pelos dois primeiros componentes, a análise é complementada com a dispersão gráfica em relação ao terceiro componente. Para este trabalho esta análise não foi satisfatória, pois os 2 primeiros componentes explicaram apenas 45,2 % da variação total, sendo que foram necessários 8 componentes para explicar 83,3 % da variação.

Contudo a técnica de componentes principais foi interessante para avaliar a importância de cada caráter estudado sobre a variação total disponível entre os genótipos avaliados. Com esta avaliação é possível fazer o descarte de caracteres que contribuem pouco para a discriminação do material avaliado, reduzindo, desta forma, mão de obra, tempo e custo. Com base no princípio de que a importância relativa dos componentes principais decresce do primeiro para o último, os últimos componentes são responsáveis por uma fração mínima da variância total disponível.

Neste trabalho, observa-se na Tabela 10, que a variável mais importante para a diversidade genética são os açúcares totais contribuindo com 10,25% da variação total, seguida pela sacarose (8,87%), frutose (8,60%) e sacarose aparente (8,46%). A variável que menos explica esta variação é a matéria seca com 2,20%, seguida por lignina (4,68%) e cristalinidade (4,84%).

A variável açúcares totais (AT) foi a que mais contribuiu para a diversidade genética, o que pode estar associado ao fato de este ser um caráter estimado a partir da soma de glicose, frutose e sacarose, que individualmente também contribuíram fortemente para a diversidade. Embora o caráter matéria seca (MS), tenha sido o que menos contribuiu para a diversidade genética total, a sua inclusão nessa análise é fundamental, pois este é um dos caracteres de maior importância para a cultura da cana-de-açúcar, visto que é composto pelo teor de brix e fibra, que são os responsáveis pela produção de açúcar e biomassa.

Tabela 10. Importância relativa de 15 caracteres químicos e tecnológicos para estudo da diversidade genética entre 90 genótipos de cana-de-açúcar, avaliada pelo método de componentes principais. Viçosa-MG, 2014.

Variáveis	%
AT	10,2468
SAC	8,8779
FRU	8,6063
POL	8,4611
ATR	7,9605
GLI	7,1563
HEM	6,9268
CEL	6,7659
PRZ	6,4771
C	5,8438
FB	5,4976
BRIX	5,4532
CRL	4,8401
LIG	4,6846
MS	2,2020

GLI: Glicose g/Kg; FRU: Frutose g/Kg; SAC: Sacarose g/Kg; AT: Açúcares Totais g/Kg; BRIX: Sólidos solúveis totais g/Kg; POL: sacarose aparente contida no caldo de cana g/Kg; PRZ: Porcentagem de Pureza; MS: porcentagem de Matéria Seca; FB: porcentagem de fibra; ATR: Açúcares totais recuperáveis Kg/Ton; LIG: porcentagem de lignina no bagaço; CEL: porcentagem de celulose no bagaço; HEM: porcentagem de Hemicelulose no bagaço; C: porcentagem de cinzas no bagaço; CRL: porcentagem da celulose cristalina.

4.4. Seleção simultânea de caracteres

Uma maneira de aumentar a chance de êxito de um programa de melhoramento é por meio da seleção simultânea de um conjunto de caracteres de importância econômica. Para esse objetivo a utilização da teoria de índice de seleção parece ser uma alternativa eficiente, pois permite combinar as múltiplas informações contidas na unidade experimental, de modo que seja possível a seleção com base em um complexo de variáveis que reúna vários atributos de interesse econômico (CRUZ et al., 2012.).

Com a utilização do índice com base em soma de postos proposto por MULAMBA e MOCK (1978), foram ranqueados dez genótipos mais promissores para produção de açúcar e etanol a partir do caldo, bem como para o aproveitamento da biomassa para produção de bioeletricidade e/ou etanol celulósico (Tabela 11).

Observa-se que, em maior parte, os mesmos genótipos foram ranqueados para ambas as finalidades, isso se justifica devido ao fato de que a seleção de genótipos priorizou altos teores de açúcares no caldo e alto teor de fibra, selecionando para esses fins as mesmas variáveis (sacarose, sacarose aparente, açúcares totais, açúcares totais

recuperáveis, pureza, brix e fibra) e o mesmo sentido de seleção. A seleção se diferenciou no que diz respeito exclusivamente às características da fibra, sendo que para materiais destinados a bioeletricidade buscou-se por genótipos com alto teor de lignina e baixo teor de cinzas. Já para etanol celulósico procurou encontrar materiais com elevados teores de celulose e hemicelulose combinado com baixos teores de lignina, cristalinidade e cinzas.

Tabela 11. Classificação dos 10 genótipos mais promissores com base em caracteres químicos e tecnológicos para produção de bioeletricidade e/ou etanol celulósico. Viçosa-MG, 2014.

Rank	Bioeletricidade		Etanol Celulósico	
	Genótipo	Nº	Genótipo	Nº
1	SP80-3280	10	Q124	19
2	SP83-2847	12	SP83-2847	12
3	Co285	25	RB001913	8
4	Q124	19	RB001906	3
5	RB975947	30	RB037213	55
6	SP91-1049	86	RB008029	70
7	RB008029	70	RB997671	72
8	NG57-6	21	RB037041	49
9	UVA	24	SP80-3280	10
10	RB001906	3	UVA	24

Os genótipos RB008029 (70) e UVA (24) foram classificados em posições muito próximas para as diferentes finalidades. Já o genótipo SP83-2847 (12) foi ranqueado na 2ª posição para ambos os objetivos. Estas observações indicam que não houve grande variação, principalmente para o teor de lignina em associação com as características desejadas, visto que, por exemplo, para o segundo caso o mesmo genótipo foi considerado o segundo no rank com alto teor de lignina para satisfazer as condições para produção de bioeletricidade e ao mesmo tempo foi o segundo com baixo teor de lignina para produção de etanol celulósico.

Segundo MASARIN et al., (2011), genótipos de cana-de-açúcar com menores teores de lignina são mais promissores no que se diz respeito à qualidade do caldo para produção de açúcares. Consequentemente, apesar da existência de materiais com elevado teor de lignina, estes não foram selecionados, pois não foram capazes de satisfazer as exigências necessárias para uma boa qualidade do caldo.

4.5. Cruzamentos entre genitores potenciais

Para as espécies alógamas a diversidade genética encontra-se correlacionada com a heterose, o que justifica a consideração deste critério na seleção de genitores, evidenciando maior eficiência em programas de melhoramento quando se utiliza maior distância genética entre os genitores. (BOREM e MIRANDA, 2013). Assim, para indicar os cruzamentos entre genitores potenciais, com maiores teores de sacarose no caldo e com material lignocelulósico promissor para produção de bioeletricidade e/ou etanol celulósico, foi levado em consideração não apenas a classificação dos genótipos quanto às características desejadas, mas também a similaridade entre eles.

De acordo com os métodos de agrupamento realizados para os 90 genótipos aqui estudados, tanto para o método de otimização de Tocher como para o hierárquico do UPGMA, os 10 genótipos selecionados através do índice de seleção para as duas finalidades propostas, encontram-se no 1º grupo estabelecido. Este fato é claramente justificado, pois além deste grupo reunir em torno de 70% dos genótipos para ambos os métodos, espera-se encontrar nos grupos distintos genótipos menos similares, porém com características indesejáveis. BOREM e MIRANDA, 2013, enfatizaram que a seleção de genitores com base na distância genética deve sempre ser ponderada pela avaliação do comportamento por si só dos genótipos envolvidos, uma vez que existe tendência de os genótipos muito divergentes apresentarem limitações agronômicas relativas a uma ou mais características.

Vale ressaltar que entre os dez genótipos selecionados pelo índice, nenhum par encontra-se entre os dez menos similares, no entanto, para ambos os objetivos, vários genótipos selecionados pelo índice se destacaram entre os dez mais similares, representados anteriormente na Tabela 8. Estes genótipos mais similares possivelmente estão relacionados com um ou mais ancestrais comuns. Não se justifica realizar cruzamentos entre genótipos com base genética estreita, ou seja, entre indivíduos aparentados, pois mesmo apresentando características desejáveis, este tipo de cruzamento leva a endogamia, ou perda da heterose aos descendentes, quando se trata de plantas alógamas (FALCONER, 1987).

Desta forma, a fim de identificar os cruzamentos promissores para cada finalidade considerou-se a escolha dos genitores com base nas maiores distâncias entre os dez genitores classificados pelo índice de seleção, excluindo os cruzamentos entre aqueles que se encontraram entre os dez mais similares. Para a obtenção de progênies eficientes na produção de bioeletricidade foi possível indicar 18 cruzamentos e para a produção de etanol celulósico podem ser recomendados 14 cruzamentos. Em

contrapartida, 6 cruzamentos podem ser indicados para ambas as finalidades (Tabela 12).

Tabela 12. Cruzamentos promissores para obtenção de progênes eficientes na produção de bioeletricidade ou etanol celulósico (Finalidade Específica) e para ambos os produtos (Dupla Finalidade), com base na classificação a partir do índice de seleção e na distância genética entre os genótipos selecionados. Viçosa-MG, 2014.

Finalidade Específica		Dupla Finalidade
Bioeletricidade	Etanol Celulósico	
SP80-3280 X RB975947	RB037213 X Q124	SP80-3280 X SP83-2847
SP83-2847 X Co285	RB997671 X Q124	SP80-3280 X RB008029
SP83-2847 X RB975947	SP832-847 X RB037213	SP80-3280 X UVA
SP83-2847 X SP91-1049	RB001913 X RB008029	SP80-3280 X RB001906
SP83-2847 X NG57-6	RB001913 X RB997671	SP83-2847 X Q124
Co285 X Q124	RB001913 X SP80-3280	RB008029 X Q124
Co285 X RB008029	RB001906 X RB037213	
Co285 X NG57-6	RB001906 X RB997671	
Co285 X UVA	RB037213 X RB008029	
Co285 X RB001906	RB037213 X SP80-3280	
RB975947 X Q124	RB037213 X UVA	
RB975947 X RB008029	RB997671 X SP80-3280	
RB975947 X NG57-6	RB997671 X UVA	
RB975947 X UVA	RB037041 X SP80-3280	
RB975947 X RB001906		
SP91-1049 X NG57-6		
SP91-1049 X RB001906		
RB008029 X NG57-6		

Para indicar cruzamentos visando a produção de bioeletricidade, o genótipo RB975947 (30), que ocupa a posição 5 no rank se destacou entre os demais genótipos selecionados, sendo utilizado em 7 cruzamentos, considerando os cruzamentos com dupla finalidade, não recomendando seu cruzamento apenas com os genótipos SP91-1049 (86) e Co285 (25), por se encontrarem entre os 10 mais similares.

O genótipo SP80-3280 (10) que ocupa a posição 9 no rank, se destacou na indicação de cruzamentos promissores visando a produção de etanol celulósico, sendo utilizado no cruzamento com quase todos os demais genótipos selecionados, considerando os cruzamentos com dupla finalidade, excetuando apenas o genótipo Q124 (19), por se encontrar entre os 10 mais similares. Ainda para esta finalidade, o RB037041 (49), que se classificou em 8º no rank, se apresentou entre os 10 mais similares para a maioria dos genótipos selecionados, sendo possível indicar o seu cruzamento apenas com SP80-3280 (10).

Entre os seis cruzamentos indicados para dupla finalidade, o genótipo SP80-3280 (10), também se destacou, sendo utilizado em 4 dos cruzamentos.

A ocorrência da indicação de cruzamentos para ambas as finalidades é justificada devido ao fato de que os genótipos selecionados não foram os mais divergentes, pertencendo ao mesmo grupo pelos métodos de agrupamento. O índice de seleção foi criado priorizando, para diferentes fins, genótipos com alta qualidade para produção de sacarose e por isso não foram selecionados valores extremos para os componentes lignocelulósicos. Possivelmente, genótipos com melhores características para produção de bioenergia, se encontram em grupos distintos, entretanto não seriam materiais condizentes com os objetivos deste trabalho, que visa selecionar genitores com biomassa eficiente para a produção de bioenergia, de forma complementar a produção de açúcar e etanol.

5. CONCLUSÕES

No geral, houve uma alta amplitude de variação para os caracteres avaliados, excetuando celulose. As maiores variações foram observadas para as variáveis que caracterizam os açúcares do caldo. Em contra partida, as menores variações foram das variáveis que caracterizam a fibra da cana. As contribuições mais importantes foram os sólidos solúveis totais (BRIX), a sacarose aparente (POL), os açúcares totais recuperáveis (ATR), os açúcares totais (AT) e a sacarose (SAC) na amplitude de variação dos genótipos.

Apesar das baixas correlações encontradas para maior parte das variáveis, foi possível obter resposta correlacionada entre os caracteres desejados para seleção. Neste caso, a variável sólidos solúveis totais (BRIX), que é uma característica de fácil medição, pode ser considerada a principal característica para ser utilizada na seleção indireta de caracteres correlacionados.

A análise de trilha não se mostrou eficiente ao se utilizar matéria seca (MS) como variável básica, apresentando baixo coeficiente de determinação e alto efeito da variável residual.

A partir das análises de diversidade genética, foi possível agrupar os 90 genótipos estudados em 8 grupos distintos pelo método de agrupamento otimização de Tocher e pelo hierárquico, UPGMA. A partir da análise por componentes principais concluiu-se que os açúcares totais (AT), foi a variável mais importante para a diversidade genética e a matéria seca (MS) foi a que menos contribuiu.

A seleção simultânea de caracteres, complementada pela análise de diversidade genética, possibilitou selecionar genótipos superiores para produção de açúcar e etanol a partir do caldo e simultaneamente para o aproveitamento do bagaço da cana na produção de bioenergia.

Para bioeletricidade podem ser destacados os seguintes genótipos promissores: SP80-3280, SP83-2847, Co285, Q124, RB975947, SP91-1049, RB008029, NG57-6, UVA e RB001906. Já para a produção de etanol celulósico: Q124, SP83-2847, RB001913, RB001906, RB037213, RB008029, RB997671, RB037041, SP80-3280 e UVA.

A partir dos genótipos selecionados de acordo com a similaridade e o índice com base nas características desejadas, foi possível indicar 18 cruzamentos entre genitores potenciais para produção de bioeletricidade, 14 para etanol celulósico e 6 para ambas as finalidades.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A., FERRAZ, A., 2011. Mecanismos envolvidos na biodegradação de materiais lignocelulósicos e aplicações tecnológicas correlatas. *Química Nova* v.34, p. 1729-1738.

ANDRADE, L.A.B., 2006. *Produção de Aguardente de Cana. Cultura da Cana-de-açúcar*, Lavras: UFLA.

ARTSCHWAGER, E., BRANDES, E.W., 1958. Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). *Agriculture Handbook*, Washington: USDA., 122-307.

BACCHI, O.O.S., 1983. Botânica da cana-de-açúcar. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil. Piracicaba: IAA/ PLANALSUCAR Coleção PLANALSUCAR, 2, 25-37.

BALAT, M., BALAT, H., 2009. Recent trends in global production and utilization of bio-ethanol fuel. *Applied Energy* 86, 2273-2282.

BARBOSA, G.V.S., SOUZA, A., J, R., ROCHA, A.M.C., RIBEIRO, G.A.G., ERREIRA, J.L.C., SOARES, L., CRUZ, M.M., SILVA, W.C.M., 2000. Novas variedades RB de cana-de-açúcar para Alagoas, Maceió: UFAL, Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-Açúcar. *Boletim Técnico - Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-Açúcar* 1, 16.

BARBOSA, M.H.P., RESENDE, M.D.V., DIAS, L.A.S., BARBOSA, G.V.S., OLIVEIRA, R.A., PETERNELLI, L.A., DAROS, E., 2012. Genetic improvement of sugar cane for bioenergy: the Brazilian experience in network research with RIDESA. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* v. 2, p. 87-98.

BHATTACHARYA, S.C., 2002. Biomass energy and densification: a global review with emphasis on developing countries. *Anais: Swedish Bioenergy Association. WORLD CONFERENCE ON PELLETS*, p. 1-17.

BITTENCOURT, G.M., FONTES, R.M.O., CAMPOS, A.C., 2012. Determinantes das exportações brasileiras de etanol. *Política Agrícola* v. XXI, p. 4-19.

BOREM, A., MIRANDA, G.V., 2013. Melhoramento de plantas., Viçosa, MG.

BRAND, M.A., 2010. Energia de biomassa florestal. Rio de Janeiro: Interciência, 131 p.

BURNQUIST, H.L., 1999. O sistema de remuneração da tonelada de cana pela qualidade - CONSECANA. *Preços Agrícolas, Piracicaba*. v. 14, p. 14-16.

CABRAL, F.F., SILVA, C.B., FERREIRA, V.M., NETO, J.C.A., G.V.S, B., 2011. Fertilidade de cruzamentos, potencial fisiológico e armazenamento de sementes de

cana-de-açúcar. Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias, Guarapuava-PR 4, 66-82.

CANILHA, L., MILAGRES, A.M.F., SILVA, S.S., SILVA, J.B.A., FELIPE, M.G.A., ROCHA, G.J.M., FERRAZ, A., W., C., 2010. Sacarificação da biomassa lignocelulósica através de pré-hidrólise ácida seguida por hidrólise enzimática: uma estratégia de “desconstrução” da fibra vegetal. Revista Analytica.

CAPONE, A.L., J. J.; SILVA, T. R.; DIAS, M. A. R.; MELO, A. V. , 2011. Avaliação do comportamento de quinze cultivares de cana-de-açúcar na Região Sul do Tocantins. Journal of Biotechnology and Biodiversity 2, 72-80.

CARRIER, M., LOPPINET-SERANI, A., DENUX, D., LASNIER, J.-M., HAMPICHAVANT, F., CANSELL, F., AYMONIER, C., 2011. Thermogravimetric analysis as a new method to determine the lignocellulosic composition of biomass. Biomass Bioenergy 35, 298-307.

CARVALHO, M.A., QUESENBERRY, K.H., 2009. Morphological characterization of the USA Arachispintoi Krap. and Greg. collection. Plant Systematics and Evolution 277, 1-11.

CARVALHO, W., CANILHA, L., FERRAZ, A., MILAGRES, A., 2009. Uma visão sobre a estrutura, composição e biodegradação da madeira. Química Nova v.32, p. 1-5.

CASTRO, N.J., DANTAS, G.A., 2011. Bioenergia no Brasil e na Europa: uma análise comparativa. <http://www.nuca.ie.ufrj.br/gesel/artigos/0810XX_CastroDantas_BioenergiaBrasilEuropa.pdf>.

CASTRO, N.J., DANTAS, G.A., 2008. A Bioeletricidade Sucroalcooleira e o Hiato entre Oferta Potencial e Oferta Efetiva. IFE.

CHAKRAVORTY, U., HUBERT, M.H., NOSTBAKKEN, L., 2009. Fuel Versus Food. Annual Review of Resource Economics 1, 645-663.

CHEN, C.L., 1991. Lignins: Occurrence in wood tissues isolation reactions, and structure. In: LEWIS, M., GOLDSTEIN, I.S. (ed.). Wood structure and composition. N.i. : Marcel Dekker.

CHEN, X., NIELSEN, K.F., BORODINA, I., KIELLAND-BRANDT, M.C., KARHUMAA, K., 2011. Increased isobutanol production in *Saccharomyces cerevisiae* by overexpression of genes in valine metabolism. *Biotechnology for biofuels* 4, 21.

CHIORATO, A.F., CARBONELL, S.A.M., COLOMBO, C.A., DIAS, L.A.S., ITO, M.F., 2005. Genetic diversity of common bean accessions in the germplasm bank of the Instituto Agrônômico - IAC. . *Crop Breeding and Applied Biotechnology, Brasil*. v.5, p.1-9.

CRUZ, C.D., 2013. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum* v.35, 271-276.

CRUZ, C.D., FERREIRA, F.M., PESSONI, L.A., 2011. *Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética*, Visconde do Rio Branco: Suprema.

CRUZ, C.D., REGAZZI, A.J., CARNEIRO, P.C.S., 2012. *Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético*.

DAROS, E., OLIVEIRA, R.A., ZAMBON, J.L.C., FILHO, J.C.B., 2010. *Catálogo Nacional de Variedades "RB" de cana-de-açúcar*. Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro- RIDESA, 136 p.

DIAS, J.M.C.S., SOUZA, D.T., BRAGA, M., ONOYAMA, M.M., MIRANDA, C.H.B., BARBOSA, P.F.D., ROCHA, J.D., 2012. *Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas*. Embrapa Agroenergia.

EPE, 2013. *Análise de Conjuntura - Ano 2013*. Empresa de Pesquisa Energética- EPE.

EPE, 2014. *Balço Energético Nacional (BEN) 2014 – Ano base 2013*. Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

FALCONER, D.S., 1987. Introdução a genética quantitativa, Imprensa Universitária , Universidade Federal de Viçosa- UFV- MG, Brasil.

FENGEL, D., WEGENER, G., 1983. Wood: chemistry, ultrastructure, reactions. Walter de Gruyter.

FERREIRA, F.M., BARBOSA, M.H.P., CASTRO, R.D., PETERNELLI, L.A., CRUZ, C.D., 2005. Effects of inbreeding on the selection of sugar cane clones. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, Brasil. v.5, p. 174-182.

FERREIRA, F.M., BARROS, W.S., SILVA, F.D., BARBOSA, M.H.P., CRUZ, C.D., BASTOS, I.T., 2007. Relações fenotípicas e genotípicas entre componentes de produção em cana-de-açúcar. *Bragantia* 66, 605-610.

FLORENTINO, H.O., MORENO, E.V., SARTORI, M.M.P., 2008. Multiobjective optimization of economic balances of sugarcane harvest biomass. *Scientia Agricola* 65, 561-564.

GOLDEMBERG, J., 2008. The Brazilian biofuels industry. *Biotechnology for biofuels*. v.1, p. 1-7.

GOLDEN, 1996. Chemical Analysis and Testing Task: Laboratory Analytical Procedure. National Renewable Energy Laboratory (NREL).

GONÇALVES, J.E., SARTORI, M.M.P., LEÃO, A.L., 2009. Energia de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de *Eucalyptus grandis*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 13, 657- 661.

GUPTA, V., RAGHUVANSHI, S., GUPTA, A., SAINI, N., GAUR, A., KHAN, M.N., GUPTA, R.S., SINGH, J., DUTTA-MAJUMDER, S.K., SUMAN, A., KHURANA, J.P., KAPUR, R., TYAGI, A.K., 2010. The water-deficit stress- and red-rot-related genes in sugarcane. *Functional Integrative Genomics* 10, 207-214.

JACKSON, P.A., 2005. Breeding for improved sugar content in sugarcane. *Research, Australia, Field Crops*. v.92, p.277-290.

JENKINS, B.M.e.a., 1998. Combustion properties of biomass. Fuel Aprocessing Technology, Amsterdam. v. 54, p. 17-46.

JUNG, H.G., FAHEY, G.C., 1983. Nutritional implications of phenolic monomers and lignin: A review. J. Anim. Sci 57, 206-219.

LAPIERRE, C., 1993. Application of new methods for the investigation of lignin structure. In: JUNG, H.G.; BUXTON, D.R.; HATFIELD, R.D. et al. Forage cell wall structure and digestibility. Madison: American Society for Agronomy, 133-163.

LAVIOLA, B.G., BHERING, L.L., MENDONÇA, S., ROSADO, T.B., ALBRECHT, J.C., 2011. Caracterização morfo-agronômica do banco de germoplasma de pinhão manso na fase jovem. Biosci. J. Uberlândia 27, 371-379.

LEE, J.S., PARAMESWARAN, B., LEE, J.P., PARK, S.C., 2008. Recent developments of key technologies on cellulosic ethanol production. Journal of Scientific & Industrial Research 67 865-873.

LEITE, M.S.O., PETERNELLI, L.A., BARBOSA, M.H.P., 2006. Effects of plot size on the estimation of genetic parameters in sugarcane families. Crop Breeding and Applied Biotechnology, Brasil. v.6, p. 40-46.

LIMA, M.A.P., LEAL, M.R.L.V., CORTEZ, L.A.B., 2010. Produção sustentável em larga escala de etanol de cana-de-açúcar no Brasil. Parc. Estrat. Brasília - DF 15, 259-264.

LISEC, J., SCHAUER, N., KOPKA, J., WILLMITZER, L., FERNIE, A.R., 2006. Gas chromatography mass spectrometry-based metabolite profiling in plants. Nature Protocols 1, 387-396

LOUREIRO, M.E., P., B.M.H., LOPES, F.J.P., SILVÉRIO, F.O., 2011. Sugarcane breeding and selection for more efficient biomass conversion in cellulosic ethanol. . In Routes to cellulosic ethanol. Edited by: Buckeridge MS, Goldman GH. New York: Springer, p. 199-239.

MAÊDA, J.M.P., I. E.; BORGES, R. C. G.; CRUZ, C. D. , 2001. Critérios de seleção uni e multivariados no melhoramento Genético da *Viola surinamensis*. *Floresta e Ambiente* 8, .61- 69.

MAFIOLETTI, R., MARTINS, G., TURRA, F., 2011. Produção de etanol nos Estados Unidos da América. *Revista de Política Agrícola* XX, 96-107.

MAPA, 2012. Plano Agrícola e Pecuário 2013/2014. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

MARCATTO, M.I., LIMA, L.A., 2013. Sociedade contemporânea e o protocolo de quioto: O mundo em prol do meio ambiente. *Revista Científica da Escola de Gestão e Negócios* 2, 41-63.

MARCHIORO, V.S., CARVALHO, F.I.F., OLIVEIRA, A.C., CRUZ, P.J., LORENCETTI, C., BENIN, G., SILVA, J.A., SCHMIDT, G., 2003. Dissimilaridade genética entre genótipos de aveia. *Ciência Agrotecnica, Lavras*. v.27, p.285-294.

MARIM, B.G., SILVA, D.J.H., CARNEIRO, P.C.S., MIRANDA, G.V., MATTEDI, A.P., CALIMAN, F.R.B., 2009. Variabilidade genética e importância relativa de caracteres em acessos de germoplasma de tomateiro. *Pesquisa agropecuária brasileira* 44, .1283-1290.

MARQUES, M.O., MARQUES, T.A., J.R., T., 2001. Tecnologia do açúcar: produção e industrialização da cana-de-açúcar.

MASARIN, F., GURPILHARES, D.B., BAFFA, D.C.F., BARBOSA, M.H.P., CARVALHO, W., FERRAZ, A., MILAGRES, A.M.F., 2011. Chemical composition and enzymatic digestibility of sugarcane clones selected for varied lignin content. *Biotechnology for biofuels* v.4, p. 55.

MASIERO, G., LOPES, H., 2008. Etanol e biodiesel como recursos energéticos alternativos: perspectivas da América Latina e da Ásia. *Revista Brasileira de Política Internacional* 51 (2), 60-79.

MATLAB, 1984-1997. MATLAB for Windows-The Math Works.

MATSUOKA, S., GARCIA, A.A.F., ARIZONO, H., 2005. Melhoramento de espécies cultivadas. In: In: BORÉM, A.V.E.U. (Ed.), Melhoramento da cana-de-açúcar., pp. p.205-251.

MORAES, M.A.F.D., 2007. O mercado de trabalho da agroindústria canavieira: desafios e oportunidades. *Economia Aplicada* 11, 605-619.

MORAES, R.M.A., CRUZ, C.D., BARROS, E.G., MOREIRA, M.A., 2005. Genetic divergence in soybean parents for backcrossing programs. *Crop Breeding and Applied Biotechnology, Brasil*. v.5, p.340-347.

MOTA, C.J.A., A., S.C.X., GONÇALVES, V.L.C., 2009. Gliceroquímica: novos produtos e processos a partir da glicerina de produção de biodiesel. *Química Nova* 32 639-648.

NASS, L.L., PATERNIANI, E., 2000. Pre-breeding: a link between genetic resources and maize breeding. *Scientia Agricola* 57, 581-587.

OLIVEIRA, M., VAUGHAN, B.E., RYKIEL, E.J., 2005. Ethanol as fuels: Energy, carbon dioxide balances, and ecological footprint. *Bioscience* 55, 593-602.

PAPINI-TERZI, F.S., ROCHA, F.R., VÊNCIO, R.Z., FELIX, J.M., BRANCO, D.S., WACLAWOVSKY, A.J., DEL BEM, L.E., LEMBKE, C.G., COSTA, M.D., NISHIYAMA, M.Y., 2009. Sugarcane genes associated with sucrose content. *BMC genomics* 10, 120.

PAULA, L.E.R., TRUGILHO, P.F., NAPOLI, A., BIANCHI, M.L., 2011. Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. *Cerne, Lavras* v. 17, p. 237-246.

PIETRAFESA, J.P., SANTOS, J.M., 2014. Créditos de carbono e a internacionalização do etanol de região de cerrado. *CAMPO-TERRITÓRIO: Revista de Geografia Agrária* 9, 515-539.

PIETROBON, V.C., MONTEIRO, R.T.R., POMPEU, G.B., BORGES, E.P., LOPES, M.L., AMORIM, H.V., CRUZ, S.H., VIÉGAS, E.K.D., 2011. Enzymatic hydrolysis of sugarcane bagasse pretreated with acid or alkali. *Brazilian archives of Biology and technology* 54, 229-233.

PILÓ-VELOSO, D., NASCIMENTO, E.A., MORAIS, S.A.L., 1993. Isolamento e análise estrutural de ligninas. *Química Nova* 16, 435-448.

PROTÁSIO, T.P., BUFALINO, L., TONOLI, G.H.D., COUTO, A.M., TRUGILHO, P.F., GUIMARÃES JÚNIOR, M., 2011. Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. *Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo*. v. 31, p. 122-133.

RAMOS, S.R.R., QUEIROZ, M.A., PEREIRA, T.N.S., 2007. Recursos genéticos vegetais: manejo e uso. *Magistra* 19, 265-273.

SAIDUR, R., ABDELAZIZ, E.A., DEMIRBAS, A., HOSSAIN, M.S., MEKHILEF, S., 2011. A review on biomass as a fuel for boilers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 2262-2289.

SANTINI, G.A., PINTO, L.B., QUEIROZ, T.R., 2011. Cana-de-açúcar como base da matriz energética nacional. *Política Agrícola* XX 89-99.

SANTOS, F., QUEIROZ, J.H., COLODETTE, J., SOUZA, C.J., 2013. Bioenergia & Biorrefinaria - Cana-de-Açúcar & Espécies Florestais.

SANTOS, F.A., QUEIRÓZ, J.H., COLODETTE, J.L., FERNANDES, S.A., GUIMARÃES, V.M., REZENDE, S.T., 2012a. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. *Química Nova* 35, 1004-1010.

SANTOS, F.A., QUEIROZ, J.H., COLODETTE, J.L., MANFREDI, M., QUEIROZ, M.E.L.R., CALDAS, C.S., SOARES, F.E.F., 2014. Otimização do pré-tratamento hidrotérmico da palha de cana-de-açúcar visando à produção de etanol celulósico. *Química Nova* 37, 56-62.

SANTOS, M.L., DE LIMA, O.J., NASSAR, E.J., CIUFFI, K.J., CALEFI, P.S., 2011. Estudo das condições de estocagem do bagaço de cana-de-açúcar por análise térmica. *Química Nova* 34, 507-511.

SANTOS, R.C., CARNEIRO, A.C.O., TRUGILHO, P.F., MENDES, L.M., CARVALHO, A.M.M.L., 2012b. Análise termogravimétrica em clones de eucalipto como subsídio para a produção de carvão vegetal. *Cerne, Lavras* v. 18, p. 143-151.

SHARMA, R.K., WOOTEN, J.B., BALIGA, V.L., LIN, X., CHAN, W.G., HAJALIGOL, M.R., 2004. Characterization of chars from pyrolysis of lignin. *Fuel, London* v. 83, p. 1469-1482.

SHIMOYA, A., CRUZ, C.D., FERREIRA, R.P., PEREIRA, A.V., CARNEIRO, P.C.S., 2002. Divergência genética entre acessos de um banco de germoplasma de capim-elefante. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília*. v.37, p.971-980.

SILVA, A.T.B., SPERS, R.G., WRIGHT, J.T.C., COSTA, P.R., 2013. Cenários prospectivos para o comércio internacional de etanol em 2020. *R. Adm* 48, 727-738.

SILVA, M.A., GONÇALVES, P.S., LANDELL, M.G.A., BRESSANI, J.A., 2002. Estimates of genetic parameters and expected gains from selection of yield traits in sugarcane families. *Crop Breeding and Applied Biotechnology, Brasil*. v.2, p. 569-578.

SILVA, M.A., SANTOS, C.M., ARANTES, M.T., PINCELLI, R.P., CRUSCIOL, C.A.C.S., M. A.; ROSSETO, R.; SORATTO, R. P. , 2010a. Fenologia da cana-de-açúcar. *Tópicos em ecofisiologia da cana-de-açúcar*, 8-21.

SILVA, V.S., GARCIA, C.A., SILVA, C.M., 2010b. O destino do bagaço da cana-de-açúcar: Um estudo a partir das agroindústrias sucroalcooleiras do Paraná. *Revista em Agronegócios e Meio Ambiente* 3, 59-76.

- SMITH, W.K., CLEVELAND, C.C., REED, S.C., MILLER, N.L., RUNNING, S.W., 2012. Bioenergy potential of the United States constrained by satellite observations of existing productivity. *Environmental science & technology* 46, 3536-3544.
- SNEDECOR, G.W., COCHRAN, W.G. *Statistical methods*. Ames, Iowa State University Press, 1974. 593p.
- SOUZA, F.F., QUEIROZ, M.A., DIAS, R.S.S., 2005. Divergência genética em linhagens de melancia. *Horticultura Brasileira*, Brasília. v.23, p.179-183.
- STEEL, R.G., TORRIE, J.H. *Principles and procedures of statistics*. New York, MacGraw-Hill, 1980. 632p.
- STEVENSON, G.C., 1965. *Genetics and breeding of sugar cane*. London: Longmans, 284.
- SUDRÉ, C.P., RODRIGUES, R., RIVA, E.M., KARASAWA, M., AMARAL JUNIOR, A.T., 2005. Divergência genética entre acessos de pimenta e pimentão utilizando técnicas multivariadas. *Horticultura Brasileira*, Brasília. v.23, p. 22-27.
- TAI, P. Y. P., MILLER, J. D., 2002. Germplasm Diversity among Four Sugarcane Species for Sugar Composition. *Crop Science*, 42:958-964
- TAPPI, 1998. ACID - Insoluble lignin in wood and pulp T222 om-98. TAPPI test methods. Atlanta:.
- TOPPA, E.V.B., JADOSKI, C.J., JULIANETTI, A., HULSHOF, T., ONO, E.O., 2011. Aspectos da fisiologia de produção da cana-de-açúcar (*Saccharum Officinarum* L.). *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias* 3.
- VALE, A.T.d.B., M. A. M.; DE CARVALHO C. M.; VEIGA, R. A. A. , 2000. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* hillex-maiden e *Acácia mangium* willd em diferentes níveis de adubação. *Cerne* 6, 83-88.
- VAN SOEST, P.J., 1994. *Nutritional Ecology of the Ruminant*.

VASCONCELOS, J.N., 2010. Fermentação Etanólica. In: In: SANTOS, F.B., A.; CALDAS, C (Ed.), Cana-de-açúcar Bioenergia, Açúcar e Álcool - Tecnologias e Perspectivas, Viçosa: Suprema, p. 557.

VICHI, F.M., MANSOR, M.T.C., 2009. Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial. *Química Nova* 32, 757-767.

VILELA, F.O., AMARAL JUNIOR, A.T., PEREIRA, M.G., DAHER, R.F., SCAPIM, C.A., PACHECO, C.A.P., 2005. Viability of the UENF popcorn improvement program base don divergence in S1 families. . *Crop Breeding and Applied Biotechnology, Brasil*. v.5, p.215-222.

WAACK, R.S., NEVES, M.F., MORAES, S., MARINO, M.K., MAMONE, A., SZASZ, A.H., 1998. Competitividade do sistema agroindustrial da cana-de-açúcar. Competitividade no agribusiness brasileiro: versão final. São Paulo: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada/USP 5, 1-194.

WACLAWOVSKY, A.J., SATO, P.M., LEMBKE, C.G., MOORE, P.H., SOUZA, G.M., 2010. Sugarcane for bioenergy production: an assessment of yield and regulation of sucrose content. *Plant Biotechnology Journal* v. 8, p. 263-276.

YANG, H., YAN, R., CHEN, H., ZHENG, C., LEE, D.H., LIANG, D.T., 2006. Indepth investigation of biomass pyrolysis based on three major components: hemicellulose, cellulose and lignin. . *Energy Fuels, Washington* v. 20, p. 388-393.

ZHANG, Y.P., LYND, L.R., 2004. Toward an aggregated understanding of enzymatic hydrolysis of cellulose: noncomplexed cellulase systems. *Biotechnology and bioengineering* 88, 797-824.

ZILBERMAN, D., HOCHMAN, G., RAJAGOPAL, D., SEXTON, S., TIMILSINA, G., 2012. The Impact of Biofuels on Commodity Food Prices: Assessment of Findings. *American Journal of Agricultural Economics* 95, 275-281.