**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

Curvas de maturação em cana energia

Giovanni Módolo Silveira

Dissertação apresentada para obtenção do título
de Mestre em Ciências. Área de concentração:
Ciência e Tecnologia de Alimentos

**Piracicaba
2019**

Giovanni Módolo Silveira
Engenheiro Agrônomo

Curvas de maturação em cana energia

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:

Prof. Dr. **ANTONIO SAMPAIO BAPTISTA**

Dissertação apresentada para obtenção do título
de Mestre em Ciências. Área de concentração:
Ciência e Tecnologia de Alimentos

Piracicaba
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Silveira, Giovanni Módolo

Curvas de maturação em cana energia / Giovanni Módolo Silveira. - -
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - -
Piracicaba, 2019.
99 p.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Cana energia 2. Curva de maturação 3. Comparação 4. Biomassa I. Título

Dedico

Aos meus pais Nivaldo e Ivana por
todos ensinamentos que levarei para
a vida toda.

Aos meus avós Armando (in
memoriam) e Ivone pelos cuidados na
minha infância

A minha esposa Flávia, por me fazer
acreditar em meu potencial.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por todas minhas conquistas, por ser o pastor que me conduz.

A minha família, por todos os momentos tristes e felizes que contribuíram para meu crescimento pessoal e profissional.

A meus pais Nivaldo e Ivana que me ensinaram a ter caráter, por acreditarem em mim e me apoiarem em todos os momentos.

A meu avô Armando (In memoriam) por me fazer gostar de Agronomia e a minha avó Ivone por ser minha segunda mãe.

A minha esposa Flávia por me mostrar que posso ir além das minhas dificuldades, por me ajudar a encontrar o equilíbrio mental e físico nas horas difíceis, por todas nossas conversas filosóficas, por estar sempre do meu lado e compreender minhas ausências.

As empresas David Módolo e Irmãos Ltda e Comercial Agropecuária 5 Irmãos pela disponibilização de tempo para que eu pudesse concluir o mestrado.

Aos amigos Bruno, Rafael e Eduardo por sua ajuda durante a realização do trabalho.

Aos técnicos e amigos Pedrinho, Sylvino e Rose pela valorosa ajuda na realização das análises do trabalho e pelas conversas descontraídas.

Ao professor Dr. Antonio Sampaio Baptista pelos ensinamentos, amizade e ajuda na redação do presente trabalho.

A professora Dra. Sonia Maria de Stefano Piedade pela ajuda nas análises estatísticas.

A Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ - USP pela oportunidade de realizar minha graduação e pós graduação, por todos os momentos vividos na Gloriosa que ficarão sempre na memória.

Ao centro de Cana IAC de Ribeirão Preto e toda sua equipe pelo fornecimento dos materiais e disponibilização de laboratório para realização de parte das análises.

Meus sinceros agradecimentos!

“Plante de manhã a sua semente, e mesmo ao entardecer não deixe as suas mãos ficarem à toa, pois você não sabe o que acontecerá, se esta ou aquela produzirá, ou se as duas serão igualmente boas.”

Eclesiastes 11:6

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT.....	9
LISTA DE FIGURAS.....	10
LISTA DE TABELAS.....	12
1. INTRODUÇÃO	13
2. HIPÓTESES E OBJETIVOS.....	15
2.1 Hipóteses e resultados esperados	15
2.2 Objetivos	15
3. REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1 A CANA-DE-AÇÚCAR E O SETOR SUCROENERGÉTICO.....	17
3.1.1 Morfologia e Fisiologia da cana-de-açúcar	20
3.1.2 Maturação da cana-de-açúcar	22
3.1.3 Melhoramento genético e cultivares de cana-de-açúcar.....	25
3.1.4 Escalonamento de colheita de cana-de-açúcar no Brasil	27
3.2 BIONERGIA	30
3.2.1 O bagaço e a palhada de cana-de-açúcar	35
3.3 CANA ENERGIA	37
3.3.1 O conceito da cana energia	37
3.3.2 Conceito atual de cana energia	38
3.3.3 Características tecnológicas da cana-de-açúcar e cana energia.....	44
4. MATERIAL E MÉTODOS	47
4.1 Locais de trabalho.....	47
4.2 Informações climáticas	47
4.3 Amostragem	48
4.4 Equipamentos.....	51
4.5 Frequência de amostragem	52
4.6 Análises físico-químicas	52
4.6.1 Brix do caldo	53
4.6.2 Peso do bolo úmido (PBU)	53
4.6.3 POL do caldo.....	53

4.6.4 Pureza	53
4.6.5 Fibra.....	54
4.6.6 Açúcares Redutores e Açúcares Redutores Totais	54
4.6.7 ATR da cana	55
4.6.8 Produtividade da cana	55
4.7 Análises estatísticas	56
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
5.1 Análises Biométricas	57
5.2 Brix.....	61
5.3 Peso do Bolo Úmido e Fibra	63
5.4 Teor de sacarose aparente	66
5.5 Teores de Açúcares Redutores.....	69
5.6 Teores de açúcares redutores totais	71
5.7 Pureza	74
5.8 Produtividade de cana em toneladas de colmos por hectare	76
5.9 Produtividade de cana expressa em quantidade de fibra.....	78
5.10 Produtividade de cana expressa em quantidade de ART	80
5.11 Avaliação do desempenho dos materiais no ensaio	81
6. CONCLUSÕES	85
7. PROPOSTA DE ESTUDOS POSTERIORES	87
REFERÊNCIAS	89

RESUMO

Curvas de maturação em cana energia

O setor sucroenergético apresenta importância consolidada no agronegócio no Brasil, seja pela expressiva quantidade de empregos gerados ou pela sua característica e capacidade de produzir com sustentabilidade, em um momento onde o aumento da demanda mundial por fontes energéticas renováveis é uma realidade. Os principais produtos obtidos da cana-de-açúcar são: o açúcar, o etanol, a bioeletricidade e o biogás. Nesse cenário, o conceito de cana energia é retomado, buscando elevar a eficiência energética do setor e adicionar novos processos para agregar maior valor, como o caso da produção de etanol celulósico e biogás. Os materiais de cana energia atuais são obtidos por meio do cruzamento entre variedades de cana sacarose e espécies mais rústicas do gênero *Saccharum*. O resultado normalmente consiste em um material com elevada produção de biomassa por unidade de área, possuindo baixa exigência de condições edafoclimáticas, com colmos de menor diâmetro, menores teores de sacarose e maior acúmulo de açúcares redutores. Materiais genéticos com essas características podem ser utilizados em áreas comerciais, melhorando o balanço energético do processo e possibilitando que as safras sejam estendidas. No presente trabalho, foram investigados três clones de cana energia (C33, C34 e C35) e uma variedade de cana sacarose (IACSP942094), com o objetivo de estudar a variação da maturação desses materiais e obter as curvas de maturação de cada material genético. O estudo foi conduzido na Estação Experimental do Centro de Cana, em Ribeirão Preto. Os materiais de cana energia e cana sacarose supracitados foram avaliados no período de meados de maio até o final de setembro de 2018. Os parâmetros analisados foram massa de cana, teor de fibra, pol, brix, açúcares redutores e açúcares redutores totais. Os clones de cana energia apresentaram produtividade média de 200 t ha⁻¹ e indo de 27,5 a 50,67 t de fibra ha⁻¹, contra 103 t ha⁻¹ e 14 t de fibra ha⁻¹ na cana sacarose. Os clones apresentaram teores de AR de 3 a 5 % até o ápice das curvas de maturação no final de agosto e 1,2 % no final das coletas, contra um valor médio de 0,5 % na cana sacarose. Em termos de ART os clones apresentaram valores médios de 8,45 a 14,94 % contra um 14,85 a 26,29 % na cana sacarose. Entretanto, os clones de cana energia apresentaram uma média de 24,54 t de ART ha⁻¹ contra 23,71 t de ART ha⁻¹ da cana sacarose, destacando-se o material C35 que obteve 27,37 t de ART ha⁻¹. Por meio das curvas de maturação, conclui-se que, os clones de cana energia avaliados possuem potencial competitivo para colheita do início ao meio de safra com objetivo de produção de etanol e energia ou no final para a produção de açúcar apresentando maior flexibilidade no manejo em relação a cana sacarose. Essas características são baseadas nas diferentes estratégias de manejo adotadas.

Palavras-chave: Cana energia; Curva de maturação; Comparação; Biomassa

ABSTRACT

Maturation curves in energy cane

The sugarcane industry has a consolidated importance in the agribusiness of Brazil, either by the expressive quantity of jobs generated or by its characteristic and capacity to produce in sustainable ways, in a moment where the world demand an increase for renewable energy sources. The main products obtained from sugarcane are sugar, ethanol, bioelectricity and biogas. In this scenario, the concept of energy cane returns, seeking to increase the energy efficiency of the agro-industrial energy sector and add new processes to generate value, such as the case of cellulosic ethanol and biogas production. Current energy cane materials are obtained by crossing between conventional cane varieties and more rustic species of the *Saccharum* genus. The result usually consists of a material with high production of biomass per unit area, having a low requirement of edaphoclimatic conditions, with lower diameter stems, lower sucrose content and higher accumulation of reducing sugars. Genetic materials with these characteristics can be used in commercial areas, improving the energy balance of the process and allowing the harvests to be extended. In the present work, three energy cane clones (C33, C34 and C35) and a sugarcane variety (IACSP942094) were investigated to study the maturation variation of these materials and to obtain the curves of maturation of each genetic material. The study was conducted at the Experimental Station of the "Centro de Cana", in Ribeirão Preto. The energy cane and sugarcane materials mentioned above were evaluated in the period from mid-May to the end of September, 2018. The parameters analyzed were cane mass, fiber content, pol, brix, reducing sugars and total reducing sugars. The energy cane clones presented an average yield of 200 t ha⁻¹ and 27.5 to 50.67 t ha⁻¹ of fiber, against 103 t ha⁻¹ and 14 t ha⁻¹ of fiber in conventional sugarcane. The clones presented reducing sugars contents of 3 to 5% until the apex of the maturation curves at the end of august and 1.2% at the end of the analyses period against an average value of 0.5% in sugarcane sucrose. In terms of total reducing sugars, the clones presented mean values of 8.45 to 14.94% against a 14.85 to 26.29% in conventional sugarcane. However, energy cane clones presented an average of 24.54 t of total reducing sugars ha⁻¹ against 23.71 t of total reducing sugars ha⁻¹ of conventional sugarcane, especially C35 material that obtained 27.37 t of total reducing sugars ha⁻¹. Through the maturation curves, it can be concluded that the energy cane clones have competitive potential for the beginning to the medium harvest for ethanol and energy production or at the end of the harvest for sugar production, presenting greater flexibility in handling in relation to sugarcane. These characteristics are based on the different management strategies adopted.

Keywords: Energy cane; Maturation curves; Comparison; Biomass

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produção brasileira de cana-de-açúcar nos últimos 16 anos	19
Figura 2 - Fases do desenvolvimento da cana-de-açúcar	21
Figura 3 - Fases do desenvolvimento da cana planta ao longo de dois anos, relacionadas com o regime térmico e pluviométrico da região Centro-Sul brasileira.	24
Figura 4 - Interação direta e indireta entre os fatores de produção e os processos fisiológicos das plantas.	28
Figura 5 - Índice de maturação ao longo do tempo de variedades de cana-de-açúcar, na região de Tietê, SP.	30
Figura 6 - Geração mensal de bioeletricidade sucroenergética para a rede, 2017 (GWh)	33
Figura 7 – Diagrama de recuperação e utilização dos compostos fermentáveis de cana energia	41
Figura 8 – Comparação entre a cana tradicional e a cana-energia.	43
Figura 9 – Comparação entre materiais de cana atuais e de cana energia.....	46
Figura 10 –Balanço Hídrico Sequencial para Ribeirão Preto entre 2017 e 2018.....	48
Figura 11 – Amostras de cana separadas em campo sendo da esquerda para direita clones de cana energia e cana sacarose.....	49
Figura 12 – Visão da área experimental após colheita parcial da mesma	50
Figura 13 - Fluxograma de atividades, desde a coleta até análises laboratoriais.....	50
Figura 14 – Desfibrador utilizado no processamento das amostras	51
Figura 15 – Prensa hidráulica	51
Figura 16 – Reação de oxirredução durante a titulação de acordo com a metodologia de Lane e Eynon (1934).....	54
Figura 17 - Diâmetros médios dos colmos dos materiais analisados	59
Figura 18 – Altura média dos colmos dos materiais analisados	59
Figura 19 – Números médios de perfilhos por metro linear de linha de cana.	60
Figura 20 – Variação dos teores de Brix.....	62
Figura 21 – Curva de comportamento dos teores de PBU	65
Figura 22 – Variação dos teores de Fibra.....	66
Figura 23 – Variação dos teores de POL.....	68

Figura 24 – Variação dos teores de AR	70
Figura 25 – Variação dos teores de ART	73
Figura 26 – Variação dos teores de pureza	75
Figura 27 - Produtividade, em $t\ ha^{-1}$, em materiais de cana energia e cana sacarose, no decorrer dos períodos de coleta.	77
Figura 28 - Produtividade de fibra, em $t\ ha^{-1}$, obtida ao longo dos períodos de coleta.	79
Figura 29 - Produtividade de ART, em $t\ ha^{-1}$, ao longo dos períodos de coleta.	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fontes energéticas utilizadas para produção de energia elétrica no Brasil	31
Tabela 2 - Fontes de biomassa utilizadas no Brasil.....	32
Tabela 3 – Composição físico-química do bagaço de cana.....	35
Tabela 4 – Composição da fração fibra do bagaço de cana.....	36
Tabela 5 - Frequência e quantidade de amostras coletadas no experimento.....	52
Tabela 6 – Teores de Brix nos materiais de cana investigados ao longo das coletas	62
Tabela 7 - Teores de Fibra nos materiais de cana investigados ao longo das coletas	65
Tabela 8 - Teores de POL nos materiais de cana investigados ao longo das coletas	68
Tabela 9 –Teores de AR nos materiais de cana investigados ao longo das coletas	70
Tabela 10 – Teores de ART nos materiais de cana investigados ao longo das coletas	72

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, consolidando a importância do setor sucroenergético para a economia do país. Dentre os principais produtos obtidos do processamento da cana-de-açúcar estão: o açúcar, utilizado principalmente na indústria de alimentos e bebidas; etanol, podendo ser utilizado como combustível, aditivo na gasolina e ainda na indústria farmacêutica e na elaboração de bebidas; e a energia elétrica obtida por meio de da cogeração pela queima do bagaço de cana residual do processamento industrial.

Atualmente, o Brasil é o maior produtor mundial de açúcar, com 25 % de toda a produção mundial e o segundo maior na produção de etanol, com 20 % da produção mundial. Existem por volta de 430 unidades processadoras no país, de onde são gerados 1,2 milhões de empregos diretos, sendo que a participação setor sucroenergético no PIB do país é de aproximadamente US\$ 43 bilhões, representando quase 2% do valor total (NEVES, TROMBIN, CONSOLI, 2010; UNICA, 2018).

A demanda mundial por fontes de energia renováveis é crescente e está se consolidando ao longo do tempo. O esgotamento de recursos naturais, tais como o caso dos combustíveis fósseis obriga ao direcionamento de estudos que permitam o máximo aproveitamento de recursos obtidos a partir de fontes sustentáveis. (BARBOSA; RAMOS, 2015)

O setor sucroenergético brasileiro chama a atenção por se encaixar justamente nesses moldes, podendo se consolidar como fornecedor importante de grande fração da matriz energética do país, por meio de da produção de energia elétrica limpa dentro de seu processo produtivo e do etanol, obtido atualmente como um combustível renovável de baixo custo energético e de baixa emissão de carbono.

Apesar da importância consolidada para economia do país, nos últimos anos, o setor sucroenergético vem enfrentando grandes desafios frente à crise financeira e política do país. Assim, a redução dos custos de produção e aumento da eficiência do processamento de cana, por meio de melhorias e inovação, pontos chaves no cenário atual para o sucesso das usinas e obtenção de produtos com custo competitivo no mercado e volume de produção adequado. (BARBOSA; RAMOS, 2015).

O investimento na área agrícola em busca de novas variedades que possam atuar como matéria prima com maior adaptação ao atual processo produtivo e proporcionar melhor rentabilidade e custo benefício é uma das variáveis mais importantes na busca de equilibrar as atuais dificuldades enfrentadas pelo setor.

Dentre as diversas opções disponíveis uma antiga tese vem sendo retomada nos últimos anos, como revisado por Matsuoka et al. (2014), no trabalho os autores retomam os estudos de Alexander (1985), que defendia a utilização de materiais genéticos com maior rusticidade e produtividade agrícola, obtidas em detrimento da elevada produção e concentração de sacarose nos colmos da cana almejada exclusivamente na época.

Apesar da menor retenção de sacarose no caldo, esses materiais genéticos possuem maior potencial produtivo de biomassa do que as variedades de cana sacarose, podendo através da alta produtividade compensar a presença de sacarose em menor concentração nos colmos. Além disso, esses genótipos conhecidos como cana energia podem ainda entrar em uma etapa do processo que era pouco visada na época de sua idealização, a obtenção de energia excedente no processo, devido ao maior teor de fibra em sua composição, possibilitando que as usinas possam ter participação mais expressiva na matriz energética do país e consequentemente aumentando a viabilidade desse tipo de empreendimento no longo prazo.

Por mais promissor que seja a cana energia e apesar de todo o tempo que foi demandado para que fosse atribuído ao mesmo seu devido valor, ainda existe uma lacuna grande e são necessários mais estudos visando entender melhor a variação de crescimento e maturação dos mesmos ao longo da safra agrícola (ALEXANDER, 1985). Dessa forma, os resultados desses estudos poderiam balizar a melhor forma para sua utilização dentro dos atuais processos industriais.

Partindo dessas premissas, o objetivo do presente trabalho foi investigar a variação dos açúcares no caldo da cana energia, com a utilização das metodologias atualmente disponíveis para análise tecnológica da cana sacarose. Isso permitiu a obtenção de curvas de maturação de genótipos diferentes de cana energia e cana sacarose possibilitando referências para melhores estratégias de plantio e colheita.

2. HIPÓTESES E OBJETIVOS

2.1 Hipóteses e resultados esperados

O presente trabalho pretende demonstrar que a cana energia possui potencial de produzir quantidades de açúcares semelhantes a cana sacarose por unidade de área devido ao alto perfilhamento e produtividades observados nesses materiais.

Espera-se demonstrar que, devido as diferenças tecnológicas entre os materiais de cana energia e cana sacarose, é preciso buscar estratégias de manejo diferenciadas para máximo aproveitamento do potencial produtivo de cada material.

Espera-se demonstrar que é possível aplicar os materiais de cana energia juntamente com os de cana sacarose na indústria por meio de um planejamento adequado.

2.2 Objetivos

O presente trabalho teve os seguintes objetivos:

- 1) Investigar a variação das características tecnológicas da cana energia durante o período de safra;
- 2) Estudar a variação da maturação em três clones de cana energia C33, C34 e C35;
- 3) Estabelecer curvas de maturação para os clones de cana energia C33, C34 e C35;
- 4) Analisar qual o melhor momento para a colheita da cana energia se o interesse for a produção de etanol ou se for a produção de energia elétrica.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A CANA-DE-AÇÚCAR E O SETOR SUCROENERGÉTICO

A história da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) no Brasil confunde-se com a própria história do país, devido ao fato da sua introdução ter ocorrido praticamente em conjunto com a chegada dos colonizadores. Segundo MACHADO (2003), a primeira muda de cana-de-açúcar foi trazida oficialmente por Martim Affonso de Souza, em 1532, sendo o cultivo iniciado na antiga Capitania de São Vicente, onde o mesmo construiu o primeiro engenho de açúcar. Atualmente, encontra-se estabelecida de forma definitiva em vários estados das regiões Centro-Sul, Nordeste e Norte, tornando-se uma das principais culturas do agronegócio brasileiro, com grande relevância econômica para o país (MARIN et al., 2009).

MACHADO (2003), também esclarece que durante longo período da história no qual o Brasil foi colônia de Portugal, o país foi se consolidando como o principal produtor de açúcar. Esse cenário começou a mudar a partir do século XVIII, quando as produções de cana-de-açúcar nas ilhas do Caribe e Antilhas aumentaram e o Brasil foi perdendo posições. Esse cenário se reforçou com o início da produção de açúcar de beterraba na Europa, no século XIX.

Contudo, um fato histórico foi determinante para a formação dos atuais polos produtores do país, que persistem até hoje. Com a I Guerra Mundial, em 1914, a indústria de açúcar europeia foi devastada, causando aumento do preço do açúcar no mercado mundial e incentivando a construção de novas usinas no Brasil, com destaque para a região de São Paulo, onde muitos fazendeiros de café desejavam diversificar seu perfil de produção. A partir desse período o estado foi se consolidando como o principal produtor da cultura da cana-de-açúcar. Essa consolidação foi reforçada com a criação do Proálcool, na década de 1970, o qual visava inserir o etanol na matriz energética Brasileira e reduzir a dependência da importação do petróleo (MACHADO, 2003).

Na metade da década de 1970, a crise do petróleo causou um alvoroço geral pela busca de fontes de energia alternativas. O Brasil foi um dos líderes desse período iniciando uma série de incentivos e programas para a produção e uso de etanol como combustível alternativo, obtido através da destilação do caldo fermentado de cana-de-açúcar. Os EUA rapidamente também apresentaram sua resposta, porém optando pela produção de etanol de milho. Apesar de dirigidos por

razões e estratégias econômicas os programas de produção de etanol, principalmente obtido de cana, por apresentar melhor balanço energético que o de milho, se mostraram posteriormente promissores quando o debate envolvendo redução da poluição do meio ambiente e sustentabilidade entrou em pauta (MATSUOKA et al, 2014). Anos mais tarde, a produção de etanol atingiu novos patamares com a ascensão dos veículos flex, na década de 2000. (UNICA, 2018).

No Brasil, a cana-de-açúcar se destaca como a principal fonte de matéria prima para o setor sucroenergético, devido a uma série de características como: tradição no cultivo, boa produtividade por área plantada, boa adaptação as condições edafoclimáticas locais, disponibilidade e facilidade de transporte; bom rendimento industrial; boa composição nutricional do caldo para as leveduras; facilidade para extração do caldo (MARIN et al., 2009; STEINLE, 2013).

Nas duas últimas décadas, a produção de cana-de-açúcar cresceu de forma significativa com aproximadamente 8 % de aumento na produção total. Apesar da leve retração a partir de 2010, devido às condições econômicas, sociais e de fenômenos climáticos, fator que impediu que a produção brasileira atingisse diversas projeções feitas no passado para essa época. Entretanto, mesmo com esses obstáculos, o país consolidou sua capacidade de produzir essa matéria prima de forma eficiente e em grandes volumes. A Figura 1, obtida da base de dados da UNICA (2018), ilustra a produção do início do século 21 até a penúltima safra realizada. A produção da região Nordeste manteve-se relativamente estável ao longo dos anos, ao passo que a da região Centro-Sul praticamente triplicou, mostrando-se significativamente mais expressiva na produção total brasileira.

Figura 1 - Produção brasileira de cana-de-açúcar nos últimos 16 anos

Fonte: UNICA, 2018

O setor sucroenergético tem participação econômica e social expressiva no país. Atualmente existem por volta de 430 unidades processadoras, onde são gerados 1,2 milhões de empregos diretos, as riquezas geradas correspondem a US\$ 43 bilhões, representando quase 2% do valor total do PIB brasileiro (NEVES, TROMBIN, CONSOLI, 2010; UNICA, 2018).

Para a matriz energética brasileira, a produção de etanol tem grande importância e potencial de exploração nos próximos anos. Segundo a UNICA (2018), na safra 2017/18 foram produzidos 27,85 milhões de m³ de etanol das 641,066 milhões de toneladas de cana-de-açúcar moídas.

O etanol é um combustível renovável que colabora sensivelmente com a redução do uso de combustíveis fósseis, seja pela sua mistura na gasolina ou ainda sendo consumido diretamente como combustível (etanol hidratado). No ano de 2016, o país fechou com um consumo médio de 27,14 milhões de m³ de etanol dos quais 17,3 milhões de m³ foram de etanol hidratado (UNICA, 2018).

A vinhaça, até pouco tempo considerada um resíduo industrial também vem revelando potencial promissor pelo seu processamento. A utilização de biorreatores para realização de biodigestão anaeróbia da vinhaça visando a produção de biogás é também uma importante fonte de redução do custo energético nas usinas bem como de melhor aproveitamento dos subprodutos encontrados no processo. (TORQUATO; de JESUS, 2015).

Juntamente com o etanol, outro subproduto amplamente utilizado pelo setor sucroenergético é o bagaço de cana. Esse material é utilizado principalmente nas usinas como combustível para as caldeiras em sistemas de cogeração. Segundo RIPOLI & RIPOLI (2004), estima-se que 1 hectare de canavial produz em torno de 67.080 Mcal, em equivalente energéticos, assim distribuídos: 20,09 % na forma de álcool, 40,03% no aproveitamento do bagaço como combustível para fornalhas de caldeiras de usinas e destilarias e os restantes 39,88% estariam contidos no palhiço.

Além de combustível para geração de energia, o bagaço de cana pode ainda ser aproveitado para diversos outros fins, como alimentação animal e produção de etanol de segunda geração por meio de processos que envolvem sua hidrólise e posterior fermentação, (GOMEZ et al., 2014)

3.1.1 Morfologia e Fisiologia da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar pertence à família *Poaceae* e ao gênero *Saccharum* que abrange várias espécies, porém as variedades atualmente cultivadas, na sua maioria, são híbridas, nomeadas corretamente por *Saccharum spp.* Por se tratar de uma planta com metabolismo fotossintético C4 é altamente eficiente na conversão de energia radiante em energia química e com elevado potencial de produção de biomassa. A presença de perfilhamento afeta todo o manejo da cultura como as práticas de plantio, tratos culturais e colheita. Cada perfilho se comporta como uma planta independente e autônoma, por possuir órgãos próprios como raízes, colmo e folhas (SCARPARI e BEAUCLAIR, 2010).

O sistema radicular da cana de açúcar tem a função de sustentar a planta, absorver água e nutrientes, manutenção de reservas e defesa. A arquitetura do sistema radicular muda de acordo com a idade da planta, tanto em ciclos (cortes) como dentro de um mesmo ciclo (meses de desenvolvimento). Os colmos apresentam formato cilíndrico sendo composto por nós e entrenós ou internódios e podem ser definidos como a porção acima do solo, que sustenta as folhas (MACHADO et al., 1987).

Na produção de cana para processamento industrial em açúcar e etanol é importante o desenvolvimento vegetativo da cultura e armazenamento máximo de açúcares nos colmos. Os colmos das plantas de cana-de-açúcar são hastes sem ramificações, de secção transversal, aproximadamente circular e são compostos por

nós e entrenós, sendo os nós gemas laterais situadas junto à inserção das folhas com os primórdios foliares e anéis de crescimento. A distância entre os nós é regulada pelas condições meteorológicas durante o ciclo da cultura e a sacarose é acumulada nos entrenós (MARIN et al., 2009).

A taxa de sacarose armazenada nos colmos de cana tende a ser maior durante a fase de amadurecimento, quando a taxa de crescimento fica quase nula. Para que ocorra o início da fase de maturação e o maior acúmulo de sacarose nos entrenós é necessário que ocorram condições meteorológicas restritivas ao desenvolvimento vegetativo das plantas, normalmente caracterizadas por um período de seca (MACHADO et al., 1987). O maior acúmulo de sacarose (fase de maturação) está ainda relacionado à temperaturas médias abaixo dos 21°C, principalmente em regiões com ausência de secas (CAMARA et al., 1993). A Figura 2 ilustra de forma simplificada a fisiologia da cana-de-açúcar.

Figura 2 - Fases do desenvolvimento da cana-de-açúcar

Fonte: Gascho & Shih (1983).

3.1.2 Maturação da cana-de-açúcar

A maturação dos materiais convencionais de cana-de-açúcar está intimamente relacionada com as condições de clima do local e dos fenômenos meteorológicos que ocorrerem durante o ano safra. A variação pode ser fortemente influenciada conforme mudanças no regime de chuvas e é altamente responsiva às variações de temperatura e fotoperíodo. O clima pode ser considerado o fator de maior influência na produtividade da cana-de-açúcar, dessa forma a modelagem de previsão de maturação deve avaliar essas variáveis sendo o déficit hídrico considerado de grande peso nas análises, podendo impactar nos resultados finais mesmo ocorrendo em até 120 dias antes das análises tecnológicas iniciais (ALEXANDER, 1973; BARBIERI, 1993; SCARPARI, 2007; MARIN et al., 2009; CARDOSO, 2012).

Quando se trata de maturação de cana-de-açúcar devem ser considerados os pontos de vista botânico, comercial e fisiológico. Botanicamente, a planta é considerada madura a partir da emissão de flores e produção de sementes que possam dar origem a novas plantas, que daria final ao seu processo de reprodução natural. Do ponto de vista comercial, onde a reprodução é realizada de forma vegetativa, considera-se plantas maduras quando as mesmas estão aptas a dar origem a novas plantas observando-se para isso as condições das gemas, (SILVA, 1989).

A maturação fisiológica é atingida no ponto máximo de armazenamento de açúcares redutores totais nos materiais convencionais de acordo com o potencial de cada material. Normalmente a cana é considerada madura, ou em condições de ser industrializada a partir do momento em que apresentar um teor mínimo Brix acima de 18 °, de POL (sacarose aparente) acima de 15 % (FERNANDES, 2000).

Tratando-se a maturação como a culminação das fases dos processos fisiológicos. Após atingir esse ponto em seu desenvolvimento, as plantas cana-de-açúcar passam a priorizar o acúmulo de sacarose, fator estimulado pelo clima, principalmente pela queda das temperaturas e redução da disponibilidade hídrica no solo, situações normalmente marcantes ao início da safra, Scarpari (2007) obteve correlações positivas em estudos para modelagem de previsão de maturação para o planejamento de colheita utilizando as variáveis armazenamento de água disponível no solo, graus-dias negativos e quantidades de carboidratos assimilados. No início

do processo de maturação, em geral, verifica-se a separação das folhas mais velhas do seu internódio e se completa com o armazenamento de açúcares nos internódios já expandidos nas plantas (ALEXANDER, 1973; FRANCO, 2003).

Durante a etapa de maturação deve ocorrer redução na taxa de crescimento das plantas, porém sem afetar as atividades relacionadas ao processo fotossintético. Dessa maneira, o saldo de produtos obtidos poderá ser convertido em açúcares e armazenado nos tecidos, principalmente nos entrenós (GHELLER, 1999). Ao longo desse processo, a cana-de-açúcar armazena a sacarose da base dos colmos para a ponta, onde fica a gema apical. Dessa forma o início da maturação se caracteriza pelo maior teor de açúcar no terço basal do colmo do que o terço médio, e este maior do que o terço apical. Ao longo do processo de maturação a tendência esperada é que o teor de sacarose se aproxime ou iguale nas diversas partes dos colmos, indicando que o material está pronto para ser colhido. O processo de maturação dos materiais de cana energia aponta a possibilidade de ciclos mais curtos, algo que seria viável do ponto de vista da duração da safra (ALEXANDER, 1985; FERNANDES, 1982; FERNANDES; BENDA. 1985).

A grande diferença entre as características de maturação das principais cultivares de cana é evidenciada nos primeiros meses de safra, inclusive os efeitos relativos à diferentes épocas de plantio. Após agosto as mesmas passam a ser pouco observáveis ou inexistentes dado o efeito do clima sobre as cultivares (CARDOSO, 2012)

No processo de maturação, a pureza é o indicador da quantidade de açúcares em relação aos sólidos solúveis do caldo. Durante o período de desenvolvimento vegetativo a pureza é baixa, já que a produção de açúcares nesse momento é desviada principalmente para os processos bioquímicos de crescimento. Em período de maturação, o acúmulo de sacarose eleva a pureza devido ao aumento dos açúcares em relação aos sólidos solúveis. Valores de pureza baixos sinalizam maiores quantidades de não-sacarose, como componentes normais do caldo, aminoácidos, ácidos orgânicos, amido, açúcares redutores, além de outros precursores e formadores de cor, (STUPIELLO, 2000). Para que possa ser considerado pronta para a colheita, a pureza da cana deve ser no mínimo de 80% (início da safra) ou 85% (transcorrer da safra), (FERNANDES, 2000).

Entretanto, no caso dos materiais de cana energia os parâmetros já obtidos para determinar o ponto ideal de colheita e de maturação fisiológica devem ser

revistos, isso porque a composição desses materiais difere do normalmente encontrado nas variedades de cana sacarose, apresentando valores de pol menores e pureza bem abaixo do considerado ideal para colheita devido à predominância de açúcares redutores na composição do material armazenado nos colmos durante a maturação (MATSUOKA et al., 2014). A cana-energia possui a fibra como principal constituinte, com cerca de 30 % de fibra e 5 % de açúcar redutores totais sendo esta fração basicamente composta por glicose e frutose (TEW e COBILL, 2008).

A maturação é considerada um dos aspectos mais importantes no processo produtivo de cana-de-açúcar. Para obter resultados otimizados dentro de cada sistema de produção, no tocante a uma máxima quantidade de açúcar por hectare, é essencial a utilização de técnicas agronômicas adequadas, desde o manejo dos fatores ambientais até a seleção de cultivares mais adequadas em cada situação, de acordo com a época de colheita esperada podendo ser precoces, média ou tardias de acordo com a época desejada (CASTRO, 1999).

A Figura 3 exemplifica o ciclo de desenvolvimento de plantas de cana-de-açúcar dentro do regime climático típico da região Centro-Sul brasileiro para as modalidades de plantio cana de ano e meio e cana de ano.

Figura 3 - Fases do desenvolvimento da cana planta ao longo de dois anos, relacionadas com o regime térmico e pluviométrico da região Centro-Sul brasileira.

Fonte: Adaptado de Castro (1999).

3.1.3 Melhoramento genético e cultivares de cana-de-açúcar

O Brasil se destaca como relevante local de pesquisa para o melhoramento genético de cana-de-açúcar, sendo um dos pioneiros na obtenção de cultivares de valor comercial. Os principais programas de melhoramento conduzidos no país são o da Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (RIDESA), do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) e do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC, em São Paulo). Além desses tradicionais, outros órgãos foram criados mais recentemente por programas em empresas multinacionais como a Monsanto, a Syngenta e a Basf, (ALVIM, 2015). Contudo, desses programas, somente o da Basf ainda está em atividade.

A condução básica dos programas de melhoramento ocorre de forma semelhante, iniciando-se com a obtenção de genótipos, para a constituição do banco de germoplasma, do qual serão selecionadas plantas com boa performance para as características de interesse econômico que por fim serão utilizados em cruzamentos para desenvolver cultivares comerciais com características agrônomicas e tecnológicas melhores do que as cultivares existentes. Ressalta-se que isso pode levar a um estreitamento da base genética dos cultivares obtidos (LIMA et al., 2002).

O setor sucroenergético conta atualmente com uma ampla quantidade de cultivares de cana-de-açúcar a sua disposição, as quais apresentam diferentes características predominantes (TEIXEIRA et al., 2013).

Teixeira et al. (2013) demonstraram que cultivares de cana-de-açúcar devem apresentar curvas de maturação diferentes, ou seja, cultivares precoces, médias e tardias. Assim, o conhecimento das variações de cada variedade se faz essencial para um bom manejo na intenção de se obter o melhor aproveitamento dos períodos de maior disponibilidade hídrica e radiação solar, permitindo que a cultura expresse todo seu potencial genético.

Ainda segundo Teixeira et al. (2013), o manejo varietal ideal deve evitar que uma dada cultivar em particular componha mais do que 20% da área da propriedade, respeitando sempre os ambientes de produção e as épocas de colheita adequadas. Esse fator é essencial para evitar grandes perdas por possíveis patógenos ou pragas, ainda pouco expressivos até o momento, fato esse fundamentado em dados históricos como na década de 80, onde a doença

conhecida como "carvão" foi responsável por grandes perdas na variedade NA56-79 devido à grande área de abrangência desta variedade.

Segundo Stupiello (1987), as características mais buscadas comercialmente nas cultivares são produtividade, rusticidade, resistência às pragas e doenças além de características industriais como alto teor de sacarose e médio teor de fibras. Teixeira et al. (2013) elenca como principais características nas quais as novas cultivares são baseadas: Precocidade, capacidade de brotação, perfilhamento, época de plantio e colheita, ambiente de produção, tolerância a seca, resistência ao florescimento, resistência/ tolerância a pragas e doenças, produtividade e qualidade industrial.

Segundo Barbosa et al. (2003), com a utilização de técnicas agronômicas adequadas como escalonamento de plantio, tratos culturais adequados e colheita no momento correto, bons retornos econômicos podem ser obtidos por meio de uma boa cultivar. Para isso a mesma deve apresentar um conjunto de qualidades capaz de competir com as condições existentes e mostrar resultados superiores na interação genótipo x ambiente. Sendo no entanto difícil de reunir em uma só cultivar todas as características desejadas pelo produtor, (BARBOSA, 2013).

De acordo com o observado por Matsuoka et al (2014), muitas vezes características genéticas que garantiriam maior vigor e produtividade agrícola aos materiais genéticos acabam sendo sacrificadas em detrimento da elevada produção e armazenamento de sacarose nos colmos da cana, que hoje é considerada umas das principais características nos cultivares disponíveis. O potencial produtivo da cana-de-açúcar pode atingir até 400 toneladas se permitida a expressão genética, entretanto, hoje se tem em média uma produtividade por volta de 80 toneladas por hectare no país (IBGE, 2018).

Segundo Alvim (2015), durante muito tempo, os programas de melhoramento da cana-de-açúcar foram voltados para o aumento da produção de açúcar por unidade de área. Esse tipo de seleção, para a maximização das características como toneladas de colmo por hectare (TCH), brix, pureza e ATR, levaram à perda (ou baixa frequência) de muitos alelos favoráveis à produção de biomassa, fato já observado por Alexander (1985) ao sugerir a utilização da chamada cana energia. Os alelos em questão podem ser resgatados com a introgressão gênica de espécies como a *Saccharum spontaneum*.

Gravois e Milligan (1992) reforçam a tendência na seleção dos melhoristas contra clones com reduzido diâmetro de colmo ($<1,9$ cm) devido à correlação negativa entre diâmetro e teor de fibra, ou seja, quanto menor o diâmetro, maior o teor de fibra que seria algo contrário aos padrões de cana buscados até então.

A relação entre o diâmetro de colmo e número de colmos é inversa (MILLIGAN et al., 1990). Dessa forma, por se tratar do componente predominante para a obtenção de maiores produtividades no campo a população de colmos deve ser elevada e por sua vez composta por colmos mais finos (HOGARTH, 1987; MARIOTTI, 1972). Essa característica é marcante nos atuais materiais genéticos de cana energia, sendo crucial para a obtenção de uma maior quantidade de biomassa por unidade de área.

O novo cenário observado no setor sucroenergético revela a necessidade de quebra de paradigmas quanto às características almejadas nas cultivares de cana-de-açúcar, abrindo espaço para materiais de maior potencial produtivo e que possam se adequar melhor à demanda atual de produção energética nas usinas (UNICA, 2018).

3.1.4 Escalonamento de colheita de cana-de-açúcar no Brasil

Uma das etapas mais críticas de todo o processo de produção nas usinas canaveiras, após a obtenção de um canavial adequado, é a colheita. É a qualidade dessa operação (sistematização do terreno, operadores, tempo entre colheita e chegada na usina) que definirá qual será a qualidade do canavial para a próxima safra, bem como a quantidade de impurezas minerais/ vegetais e microrganismos que serão levados para a usina, resultando em uma série de medidas no processo. Quanto maior a quantidade de impurezas carregadas para a indústria, por exemplo, maior será o desgaste dos equipamentos e utilização de insumos visando reduzir a carga microbiana trazida junto com a matéria-prima (SILVA JUNIOR; CARVALHO, 2010).

A safra brasileira de cana-de-açúcar ocorre em épocas diferentes nas regiões Nordeste e Centro-Sul. Enquanto na região Centro-Sul normalmente a safra se inicia nos meses de abril e maio para terminar em meados de novembro; na região

Nordeste a safra se dá de setembro a março, isso devido principalmente às diferentes condições edafoclimáticas nessas regiões, (UNICA, 2018)

Nas usinas o escalonamento de colheita normalmente é feito de acordo com o PUI (período útil de industrialização) das cultivares e data de plantio das mesmas. A safra canavieira se estende por diversos meses do ano, podendo alcançar até 230 dias dependendo das condições de tempo e clima de cada região de cultivo, além de diversos fatores relacionados a problemas internos que podem ocorrer nas usinas gerando atrasos no processamento (MARCHIORI, 2004).

Marchiori (2004) ainda destaca a influência que as épocas de plantio e corte podem causar no ciclo de cada canavial, bem como de seu máximo aproveitamento pela usina no tocante à maturação. O autor demonstra que pode haver forte interação entre as condições edafoclimáticas, manejo nutricional e sanitário e a época de plantio, influenciando diretamente na qualidade final da cana-de-açúcar como matéria prima. A Figura 4 citada por Castro (1999), ilustra as diversas interações que podem ocorrer em um ambiente de produção, demonstrando a complexidade de todos os processos envolvidos.

Figura 4 - Interação direta e indireta entre os fatores de produção e os processos fisiológicos das plantas.

Fonte: CASTRO (1999).

Como observado por Henrique et al. (2011), na região Centro-sul, a colheita de cana ocorre pelo menos em três estações do ano (outono, inverno e primavera), fato que implica na necessidade de variedades de distintas capacidades de maturação para que se possa efetuar colheita escalonada durante a safra.

O planejamento estratégico do plantio à colheita da cana-de-açúcar se baseia no conceito de que a cana possui um pico de maturação, uma vez que o mesmo é atingido têm-se a época mais propícia à colheita com a máxima concentração de sacarose nos colmos (SALASSI; BREAU; NAQUIN, 2002). Assim, busca-se otimizar o retorno econômico, por meio do escalonamento das diferentes variedades plantadas de forma que seja possível realizar sua colheita quando as mesmas estiverem dentro da janela conhecida como PUI (período útil de industrialização). Para tal feito, é fundamental conhecer o comportamento de cada variedade plantada (precoce, média e tardia).

A distribuição de variedades precoces, médias e tardias no campo pode ser feita de forma a obter os maiores teores de sacarose possíveis na colheita de cada talhão de cana ao longo da safra. Henrique et al. (2011), investigaram as diferenças significativas na maturação de diferentes variedades comerciais de cana-de-açúcar, obtendo de fato valores significativamente diferentes ao longo de diferentes épocas do ano (Figura 5).

Entretanto, no caso dos materiais genéticos de cana energia, observa-se escasso volume de pesquisas tratando de seu comportamento e maturação ao longo do ano safra, sendo relevante o fato de que esses materiais poderão apresentar ciclos diferenciados dos conhecidos, motivando uma investigação.

Figura 5 - Índice de maturação ao longo do tempo de variedades de cana-de-açúcar, na região de Tietê, SP.

Fonte: HENRIQUE et al. (2011)

3.2 BIONERGIA

A demanda no mundo pela energia renovável é crescente. Os estudos e buscas por esse tema estão se consolidando ao longo do tempo, sendo o enfoque é basicamente semelhante: encontrar uma fonte energética que possa ser produzida, visando a redução da extração de recursos finitos do meio ambiente, e que o mesmo contribua para a redução dos efeitos negativos causados pela emissão de gases prejudiciais ao meio ambiente pelos mais diversos processos atualmente utilizados na geração de energia, seja na queima como combustível em motores de carros ou em áreas industriais.

Segundo Matsuoka et al. (2010), a queima de biomassa foi tida por muito tempo como uma fonte exclusiva para fornecer energia para a humanidade, sua utilização só perdeu força com o advento do petróleo e do carvão mineral.

Alexander (1985), já havia feito observações relevantes referentes a dependência mundial do uso de combustíveis fósseis para compor sua matriz energética, destacando o grande potencial do uso da biomassa vegetal cultivada

para suprimento dessa lacuna. Ainda esse autor, considerava a biomassa de plantas cultivadas, uma forma de fornecer energia pouco valorizada comercialmente, que na época de seu estudo já poderia ter revolucionado o mercado mundial, apresentada como uma solução capaz de suprir a demanda energética futura principalmente para as nações tropicais.

Anos após a obra de Alexander (1985), muitas de suas colocações se tornaram realidade. Nesse cenário, o Brasil acaba por ser um caso bastante específico, pois além de possuir enorme potencial, condições de relevo, clima e solo favoráveis para o cultivo de biomassa possui ainda diversos recursos naturais a serem explorados (MATSUOKA et al., 2014)

Dentre as abundantes reservas naturais brasileiras estão os rios que banham o país, possibilitando geração de energia hidroelétrica e fazendo com que hoje essa seja a principal fonte energética brasileira, compondo 64,9% de toda potência outorgada no Brasil. A queima de combustíveis fósseis ocupa o segundo lugar e é seguida pela biomassa em geral, como pode ser observado na Tabela 1, (UNICA, 2018).

Tabela 1 - Fontes energéticas utilizadas para produção de energia elétrica no Brasil

Origem	Potência Outorgada (MW)	%
Fóssil	28.023	16,9
Biomassa em geral	14.675	8,9
Nuclear	1.990	1,2
Hídrica	107.546	64,9
Eólica	12.533	7,6
Solar	1.026	0,6
Total	165.793	100

Fonte: UNICA (2018)

O Brasil apresenta diversas fontes de biomassa, entre elas é possível destacar a obtida por processamento de resíduos sólidos urbanos, florestas cultivadas e pelo cultivo da cana-de-açúcar. Dentre as fontes utilizadas como biomassa, a cana-de-açúcar tem destaque significativo como pode ser observado na Tabela 2 (UNICA, 2018).

Tabela 2 - Fontes de biomassa utilizadas no Brasil

Origem	Potência Outorgada (MW)	%
Biomassa da cana-de-açúcar	11.247	76,9
Casca de arroz	45	0,3
Biogás-AGR	1	0
Capim Elefante	32	0,2
Floresta	3.161	21,6
Resíduos sólidos urbanos	135	0,9
Resíduos animais	4	0
Biocombustíveis líquidos	5	0
Total	14.630	100

Fonte: UNICA (2018)

A bioeletricidade sucroenergética acompanha sobretudo o perfil da produção da safra canavieira. Na Região Centro-Sul do país, responsável por processar mais de 90% da cana no Brasil, a safra é concentrada entre os meses de abril e novembro. Justamente neste período, a bioeletricidade de origem das indústrias sucroenergéticas representa também mais de 90% da geração anual para o Sistema Interligado Nacional (SIN).

O período entre abril a novembro é denominado período seco e crítico do SIN. Em 2017, foram ofertados 21.444 GWh para o SIN pela bioeletricidade canavieira, dessa qualidade, 19.490 GWh (91%) foram produzidos entre abril e novembro,

equivalente a 8% de toda a geração hidrelétrica no mesmo período (UNICA, 2018). A Figura 6 demonstra esse comportamento.

Figura 6 - Geração mensal de bioeletricidade sucroenergética para a rede, 2017 (GWh)

Fonte: UNICA (2018)

O período entre 2013 e 2015 compreendeu a conhecida crise hídrica brasileira ao longo do qual os custos de produção de energia elétrica no Brasil foram elevados de forma significativa com a entrada de eletricidade gerada a partir das termoeletricas, alimentadas por combustíveis fósseis. Esse período gerou grande impacto socioambiental para o país com o uso de fontes de maior potencial poluidor para produzir energia elétrica e elevação considerável nas contas de energia, prejudicando o custo de vida da população e custo de produção de diversas empresas. Ao longo desse período ficou evidente a necessidade de novos investimentos em alternativas complementares para a geração energética, dentre elas: energia eólica, solar, energia gerada a partir da biomassa e biogás (TORQUATO e de JESUS, 2015).

O setor sucroenergético brasileiro chama a atenção por se encaixar justamente nos atuais moldes solicitados para mudança na matriz energética brasileira, suprimindo uma demanda energética que hoje é atendida pela queima de

combustíveis fósseis. Dessa forma, podendo se consolidar como fornecedor de importante fração da matriz energética do país, através da produção de energia elétrica limpa dentro de seu processo produtivo e do etanol, obtido atualmente como um combustível renovável de baixo custo energético e de menor emissão de carbono (UDOP, 2018).

As vantagens ambientais e econômicas obtidas com o uso de fontes renováveis para a geração de energia elétrica como biomassa de cana e biogás de vinhaça biodigerida justificam as adequações necessárias nas plantas de produção e o tempo de retorno do investimento tende a diminuir progressivamente em função da demanda crescente de energia e comprometimento da matriz energética tradicional. (BARBOSA; RAMOS, 2015)

Segundo Matsuoka et al. (2010) o uso de biomassa como matéria prima pode seguir quatro plataformas básicas:

- i) combustão direta para produção de energia térmica (vapor) e cogeração de eletricidade;
- ii) hidrólise química ou enzimática da fibra (celulose e hemicelulose) para obtenção de açúcares fermentescíveis e produção de combustíveis líquidos;
- iii) gaseificação para produção de gás de síntese (monóxido de carbono e hidrogênio) ou geração de biogás e;
- iv) pirólise para obtenção de bio-óleo ou carvão/coque

A produção de fontes de biomassa pode ainda ser interessante do ponto de vista industrial para utilização como matéria prima na fabricação de diversos produtos. Ogata (2013) destaca o conceito da biorrefinaria, onde podem ser obtidos produtos a partir da celulose, hemicelulose e lignina, entre os exemplos se tem o plástico biodegradável (polietileno verde), produtos para indústria farmacêutica e de cosméticos, gomas vegetais, agentes dispersantes e principalmente o etanol de segunda geração.

3.2.1 O bagaço e a palhada de cana-de-açúcar

O bagaço de cana é o material obtido após a etapa de extração do caldo nos processos agroindustriais, cada tonelada de cana processada pode gerar cerca de 280 kg de bagaço, o aumento de fibra proporcionará relativamente maiores quantidades de bagaço retiradas do processo (NASCIMENTO, 2007).

Considerado anteriormente como resíduo que deveria ser eliminado através da queima nas caldeiras, hoje o bagaço de cana adquiriu proporções mais relevantes para o setor. De acordo com os dados de Dantas e Castro (2008); Silva et al. (2007) e UNICA (2018), estima-se que são produzidos anualmente por safra de cana cerca de 176 milhões de toneladas de bagaço, algo que corresponderia a cerca de 30% do total da cana moída.

De acordo com Fonseca (2009), o bagaço de cana é umas das fontes lignocelulósicas mais abundantes no Brasil. Ainda, como já citado pelos autores Matsuoka (2010) e Ogata (2013), a utilização desse material vai além da geração energética através de combustão, podendo atuar como importante matéria-prima em diversificados processos na obtenção de vários bioprodutos.

Tabela 3 – Composição físico-química do bagaço de cana

Parâmetros	Teores médios (%)
Carbono	39,7 - 49
Oxigênio	40 - 46
Hidrogênio	5,5 - 7,4
Nitrogênio e cinzas	0 - 0,3
Umidade	50
Fibra	46
Brix	2
Impurezas minerais	2

Fonte: MELLO JR et al. (1989); PERES (1999)

Tabela 4 – Composição da fração fibra do bagaço de cana

Parâmetros	Teores médios (%)
Celulose	26,6 - 54,3
Hemicelulose	14,3 - 24,4
Lignina	22,7 - 29,7

Fonte: MELLO JR et al. (1989); PERES (1999)

Os materiais genéticos de cana energia são nesse sentido fornecedores de bagaço de grande potencial para as unidades processadoras ao serem comparados com as cultivares tradicionais de cana-de-açúcar ou cana sacarose, isso devido à sua elevada capacidade de produção de biomassa e maior concentração relativa de fibra (MATSUOKA, 2014; OGATA, 2013)

Juntamente com o bagaço, algumas usinas vem utilizando a palha da cana recolhida após a colheita, incorporada ao bagaço, objetivando um implemento na cogeração energética ou ainda a obtenção de etanol de segunda geração por meio de processos envolvendo hidrólise desses materiais (BNDES, 2008; SANTOS et al., 2012).

A palha da cana-de-açúcar por sua vez, é constituída basicamente de celulose, hemicelulose e lignina, na proporção aproximada de 40, 30 e 25%, respectivamente. Trabalhos realizados por Silva (2009) com a palha de cana *in natura* mostraram que o material apresenta 38% de celulose, 29% de hemicelulose e 24% de lignina. A palha de cana apresenta teores de cinzas entre duas e quatro vezes maiores do que o bagaço de cana, variando em função do local de coleta do material, condições climáticas, estágio de desenvolvimento vegetativo e cultivar (Aguilar et al., 1989; PAES, 2005).

Gomez et al. (2014) demonstraram que com a mudança de práticas no setor sucroenergético, existe uma tendência de melhor aproveitamento dos resíduos em geral, um deles seria a palha e restos culturais que permanecem no campo devido à extinção da queima de cana.

Essa prática pode ser ampliada no futuro principalmente se utilizada em conjunto com cultivares adequados, como os materiais denominados cana energia. De acordo com Alves (2008), de 40 a 50% do palhiço podem ser utilizados na geração de energia, a fração restante deve ser deixada no campo por questões agrônômicas (manutenção da umidade do solo, aumento de matéria orgânica, controle da emergência de plantas daninhas e fonte de nutrientes).

3.3 CANA ENERGIA

3.3.1 O conceito da cana energia

Alexander (1985), destaca que após a obtenção dos cultivares de cana sacarose pouco foi escrito sobre as inúmeras capacidades evolutivas e de cruzamentos interespecíficos, podendo resultar em materiais genéticos de grande valor para a agricultura. O conceito da cana energia se baseia na excepcional capacidade de crescimento e formação de biomassa apresentada pela cana-de-açúcar. Existe grande potencial dormente nas plantas do gênero *Saccharum* que pode ser explorado diferentemente do que normalmente ocorre nas demais culturas, onde essa expressão gênica já foi quase explorada ao limite nos programas de melhoramento.

Nos programas de melhoramento genético ocorreram inclusive híbridos gerados por cruzamento entre diferentes gêneros de gramíneas provando que isso pode ter ocorrido de forma natural ao longo da evolução da cana-de-açúcar, e definindo isso como uma característica marcante do gênero *Saccharum*. O resultado final, entretanto, concentrou-se na maior produção de biomassa e acúmulo de sacarose, (ALEXANDER, 1985; MATSUOKA et al., 2014)

Alguns países, incluindo o Brasil, já possuem programas de melhoramento com enfoque em cana energia. Entretanto existe uma demanda de ampliação da base genética e da inclusão de novos acessos do complexo *Saccharum spp.*, com alta capacidade de produção de biomassa para se alcançar os novos desafios que essa diversificação da matriz energética exige (CRESTE et al., 2010).

Autores como Wang et al. (2008) apontam que o enfoque de novos programas de melhoramento deve ser no cruzamento de espécies fornecedoras de

germoplasma como a *S. spontaneum* com espécies já comerciais de alto desempenho, visando inserir características genéticas de interesse nas mesmas.

3.3.2 Conceito atual de cana energia

De acordo com Alexander (1985), o grande potencial de formar biomassa da cana-de-açúcar pode ser melhor aproveitado ao se empregar espécies ou híbridos de espécies com maior rusticidade em melhores ambientes de produção, o que possibilitaria diluir os custos de produção por área plantada quando comparados aos custos obtidos no plantio de materiais convencionais.

Dessa forma, a produção de energia renovável, principalmente se tratando de alterações na composição da matriz energética e produção de bioenergia poderia atingir um novo patamar, fator que viria ao encontro como parte das respostas às atuais discussões das principais lideranças mundiais nas últimas décadas (VIOLANTE, 2012).

Atualmente, os programas de melhoramento genético para cana energia buscam variedades com maior teor de fibra no colmo e alta produtividade, entretanto uma quantidade mínima de açúcares no colmo precisa ser mantida. A fibra é a parte sólida das plantas responsável por funções estruturais, em geral, é composta por celulose, hemicelulose, lignina, pentosanas, pectinas entre outros componentes (FERNANDES, 2000).

Por um longo período histórico da cultura da cana, o grande esforço de melhoramento genético voltou-se para a obtenção de sacarose, mantendo os teores de fibra entre 10 a 14 %. Até determinado momento esses patamares foram considerados de difícil superação, dadas as condições de manejo agrônomo disponíveis. Entretanto, a produção de energia fundamentada em uma maior produção de biomassa por área demonstrou que novos níveis podem ser atingidos com poucas alterações no atual custo operacional (MOORE, 2005; MATSUOKA et al., 2010).

Segundo Nassar et al. (2010), esse progresso pode ser alcançado com a utilização de híbridos entre as cultivares já utilizadas e adaptadas de cana-de-açúcar e espécies nativas não cultivadas relacionadas, as quais são fontes de diversidade de germoplasma.

Segundo Matsuoka et al. (2014), os atuais cultivares são híbridos interespecíficos derivados dos ancestrais *Saccharum officinarum* e *Saccharum spontaneum*, entretanto, cada nova espécie pode apresentar entre 8 a 13 % de cromossomos recombinantes ou derivados de translocação.

A espécie *S. officinarum* se destaca por sua predominância no acúmulo de sacarose, com menor rusticidade, crescendo em condições de maior umidade e temperatura. A espécie *S. spontaneum*, por sua vez, consiste em materiais mais fibrosos e volumosos de maior rusticidade que se desenvolveram em diferentes ambientes, e em condições edafoclimáticas bem mais restritivas, sendo amplamente utilizada nos programas de melhoramento como fonte de genes para resistência às doenças, capacidade do rebrota, aumento da resistência aos fatores abióticos e bióticos, tolerância ao frio; capacidade de aumentar os níveis de tolerância à seca e utilização mais eficiente dos nutrientes (ALVIM, 2015).

A espécie *S. spontaneum* é uma das espécies que mais contribuiu para a produção dos atuais materiais de cana energia (NAIDU; SREENIVASAN, 1987), e possui uma ampla distribuição através de três zonas geográficas. Há evidências de que a Índia seja, ao mesmo tempo, o centro de origem e o centro de diversidade de *S. spontaneum* (DANIELS; ROACH, 1987). Considerada uma planta infestante em alguns países e uma valiosa erva medicinal em outros (KUMAR et al., 2010), esse material genético pode ser encontrado em diversas condições edafoclimáticas, incluindo ambientes de extrema altitude e baixa temperatura (BRANDES et al., 1939; WARNER; GRASSL, 1958; HE et al., 1999).

A espécie *S. spontaneum* apresenta alta capacidade de produção de biomassa, característica que associada a sua rusticidade compõe fatores de interesse para programas de melhoramento. Além disso, é conhecida por apresentar maior variabilidade genética dentro do complexo *Saccharum*, com número de cromossomos variando de $2n = 40$ a $2n = 128$, existindo ainda formas euplóides e aneuplóides. (HAMMOND, 1998; TAI; MILLER, 2001; MARY et al., 2006).

Os materiais genéticos de *S. spontaneum* apresentam alto grau de polimorfismo, levando às variadas expressões genotípicas como de folhas curtas até as longas, aparecendo normalmente folhas estreitas, sem talo, alturas até 5 m e de 3 a 15 mm de diâmetro do colmo (D'HONT et al., 1996; NASSAR et al., 2010).

Para a condução de programas de melhoramento em cana energia, o cruzamento entre essas espécies com pressão final para acúmulo de biomassa se

mostra possível a partir da seleção de indivíduos principalmente resultantes da primeira população (F1) (MATSUOKA et al., 2014)

Como já demonstrado por Alexander (1985), os materiais de cana energia podem ser utilizados com sucesso nos atuais processos agroindustriais que operam com a cana sacarose como matéria prima desde que sejam feitas as devidas adaptações necessárias no mesmo. O autor cita ainda a necessidade de melhorar o preparo da cana e a eficiência de extração, sendo que isso possibilitaria resultados mais favoráveis ao balanço energético das unidades que seriam obtidos em detrimento de pequena redução dos açúcares recuperados no processo.

Por possuir maior rusticidade, melhor potencial produtivo e menor exigência nutricional e hídrica os materiais de cana energia atualmente obtidos através dos cruzamentos citados tornaram-se uma das matérias primas mais competitivas no campo da bioenergia (BARBOSA, 2014).

Existem potenciais pouco explorados com relação à cana energia para seu uso potencial também na obtenção de etanol, xarope e biogás, pensamentos que foram observados nos trabalhos de Naidu; Sreenivasan (1987); Ogata (2013); Matsuoka (2014) e Alvim (2015). A Figura 7, adaptada de Alexander (1985), demonstra um diagrama hipotético de um sistema agroindustrial processando cana energia. Apesar de ter mais de 30 anos, o diagrama se mantém bastante atual com diversas técnicas semelhantes às utilizadas nas unidades produtoras existentes, provando que muitos conceitos já apresentados pelo autor eram viáveis, inclusive tratando-se da obtenção de etanol de segunda geração através de materiais lignocelulósicos devidamente processados.

Figura 7 – Diagrama de recuperação e utilização dos compostos fermentáveis de cana energia

Fonte: Adaptado de ALEXANDER (1985)

Entretanto, como apontado Matsuoka et al.(2014), um dos motivos que levou a teoria de Alexander (1985) a ser pouca aceita na época foi, provavelmente, seu enfoque em materiais de cana energia fundamentalmente do tipo II, provocando rejeição das usinas que faziam o processamento convencional na época, onde ainda não se possuía restrições e conhecimento quanto ao uso de energia elétrica de fontes não renováveis ou de maior potencial poluidor nem muito enfoque na possibilidade de produção de etanol de segunda geração, impossibilitando a visualização desse material como fonte energética que poderia levar a sensíveis reduções nos custos de produção e poluição ambiental.

Atualmente, essa realidade é observada diferentemente, como pode ser constatado na literatura sobre esse tipo de material. Como observado por Alvim (2015), para que a produção de álcool de segunda geração atinja um patamar economicamente aceitável, a obtenção de fontes com maior potencial de produção de biomassa é tão importante quanto a necessidade do desenvolvimento no processo tecnológico, reduzindo os custos operacionais da planta.

Neste contexto, vislumbra-se uma mudança das estratégias do melhoramento genético na obtenção de futuros clones de cana visando o preenchimento de nichos de mercado que não existiam ou que eram pouco visualizados pelos programas de melhoramento. Segundo Ming et al. (2006), a vocação e importância da cana para uma cultura energética deve ser reconsiderada, fato também fortemente defendido por Alexander (1985).

De acordo com Ming et al. (2006), essas mudanças podem refletir nos programas melhoramento genético, da seguinte forma:

- i) **Obtenção de clones do tipo tradicional** “cana-de-açúcar” , com maior rendimento de massa do colmo e maior conteúdo de açúcares, acima de 15%;
- ii) **Obtenção de clones “cana energia tipo I**, mais semelhantes dos materiais convencionais, porém com maior rendimento de biomassa (colmo, palhas e ponteiros), médio conteúdo de açúcares acima de 8 % com baixa pureza e conteúdo de fibra acima de 18%, podendo ser aplicada como etanol celulósico e;
- iii) **Obtenção de “cana energia tipo II”**, com elevado rendimento em biomassa, baixo conteúdo em açúcares, abaixo de 6 %, e elevado teor de fibra, acima de 28 %, sendo própria para aplicação exclusiva como biomassa.

Cada um desses materiais terá vocação específica de acordo com a unidade industrial em que for processado permitindo máximo aproveitamento de suas características (MING et al., 2006; TEW; COBILL, 2008; BARBOSA, 2014).

Dentre as principais entidades que trabalham atualmente no país em termos de cana energia podem ser destacados os programas do IAC – Instituto Agrônomo de Campinas, em Ribeirão Preto - SP; da Vignis, localizada na região de Campinas - SP e da Granbio também localizada em Campinas – SP. Além disso, a Raízen também vem trabalhando com esses materiais em uma pequena fração de suas áreas. Observa-se predominância dos materiais de cana energia do tipo I (GRANBIO, 2018; VIGNIS, 2018; UDOP, 2018).

Teoricamente, a cana energia deve ter mais vigor do que a cana sacarose, devido a maior percentagem de alelos a partir de *S. spontaneum* em relação à *S. officinarum* que a mesma possui frente às variedades comerciais. Esse material seria então cultivado objetivando como principal produto final a biomassa, tornando o açúcar um elemento secundário. (ALVIM, 2015).

A produção de cana energia pode superar a obtida na cana sacarose, apresentando custo mais competitivo e maior produção de massa seca por área, podendo chegar a uma produtividade de 250 t/ha ao ano (VIOLANTE, 2012). A vantagem de se produzir mais fibra em detrimento da sacarose está ligada com a eficiência energética no seu cultivo, ou seja, maior unidade de energia produzida por unidade de energia gasta, considerando a cadeia sucroenergética como um todo. O atual cenário mundial demanda esse tipo de matéria prima, de forma que os processos produtivos tenham em vista sempre o compromisso com o meio ambiente e a sustentabilidade (HILL et al., 2006; JOHNSON et al., 2007).

A Figura 8, obtida de Granbio (2015) e Lima (2016), ilustra as diferenças entre a cana energia e a cana sacarose para produção de açúcar.

Figura 8 – Comparação entre a cana tradicional e a cana-energia.

Fonte: GranBio (2015)

Esses fatores, como observado na literatura revisada, conduzem a uma necessidade de novas práticas que se façam adequadas a essa nova modalidade de cana, material cuja literatura disponível ainda é relativamente escassa, principalmente no tocante aos tratos culturais e ao padrão de maturação ao longo de seu desenvolvimento, bem como é questionável se as atuais análises tecnológicas utilizadas em cana sacarose, pela metodologia do CONSECANA (2015), podem ser extrapoladas para a cana energia.

3.3.3 Características tecnológicas da cana-de-açúcar e cana energia

Atualmente, os principais parâmetros utilizados para análises tecnológicas da matéria prima nas usinas sucroenergéticas são: Brix, POL, Pureza e PBU (peso do bolo úmido), que são utilizados para gerar como principais resultados a quantidade de açúcares redutores (AR); de açúcar total recuperável (ATR) e de Fibra. É com essa metodologia que se faz o planejamento de colheita, escolha de variedades e as tomadas de decisões ao longo da safra, bem como é a base para o cálculo do pagamento de cana aos fornecedores através de amostragem realizada na entrada das usinas (CONSECANA, 2015).

A amostra de cana é retirada dos caminhões/transbordos através de um sistema de sonda geralmente oblíqua. O material é conduzido para um preparo prévio, simulando o que ocorrerá dentro dos desfibradores/ picadores da usina. Logo em seguida, parte do material desfibrado selecionado ao acaso (500 g) é conduzida a uma prensa hidráulica que simula a ação de extração do caldo feita pelas moendas. O caldo obtido passa então por uma série de equipamentos que tem como objetivo analisar seu teor de açúcar e pureza, obtendo assim a quantidade de açúcar total recuperável (ATR) da referida amostra. O material fibroso restante da extração na prensa é conduzido para estufas onde será determinado o teor de fibra do material (UNICA, 2018).

É através desses procedimentos que fica possível, a partir de diversos pontos retirados de um mesmo material genético ao longo do tempo, traçar curvas de maturação baseadas na sua capacidade e pico de acúmulo de açúcares no período de safra ou período útil de industrialização (FERNANDES, BENDA, 1985; HENRIQUE et al., 2011).

No entanto, essas metodologias são fortemente baseadas no acúmulo de sacarose e açúcares redutores, revelando uma lacuna na tentativa de aplicação de curvas de maturação em materiais genéticos diferentes, como se sucede com os atuais genótipos de cana energia, onde a quantidade de material celulósico presente é maior, apresentando diferenças no teor de açúcares redutores e pureza, bem como no ciclo de maturação. A literatura disponível fornece informações escassas sobre o comportamento fisiológico dos materiais de cana energia ao longo do tempo, bem como sobre uma forma mais apropriada de analisar seu ciclo, (MATSUOKA et al., 2014).

Em seu trabalho Matsuoka et al. (2010) adaptaram diagramas que buscam diferenciar os potenciais tecnológicos da cana sacarose da cana energia (Figura 8). Como é possível observar na Figura 8, os materiais de cana energia possibilitam abertura na gama de opções no atual processo sucroenergético elevando tanto o potencial de produção energética como o de etanol (através do processo de segunda geração envolvendo hidrólise enzimática).

Entretanto, tomando como base os atuais materiais conhecidos como cana energia do tipo I, a quantidade de ATR (açúcar total recuperável) disponível em 1 ha plantado, teria mais potencial para ser elevada, isso devido ao elevado potencial produtivo da cana energia frente à cana sacarose (cana tradicional), que levaria a uma compensação do menor teor de ATR por tonelada de cana através da elevação da quantidade de toneladas colhidas por unidade de área plantada (Figura 9) (MATSUOKA et al., 2010)

Figura 9 – Comparação entre materiais de cana atuais e de cana energia

Fonte: Adaptado de Matsuoka et al. (2010)

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Locais de trabalho

As coletas das amostras de cana energia e cana sacarose foram realizadas no banco de germoplasma, do Centro de Cana do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), localizado no município de Ribeirão Preto - SP. As análises iniciais foram conduzidas no laboratório de Qualidade /Tecnológica do Centro de Cana do IAC e, posteriormente, no Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição – ESALQ/USP, em Piracicaba – SP no Laboratório de Tecnologia Sucroenergética e Bioenergia (LTS&BIO).

4.2 Informações climáticas

Ribeirão Preto – SP tem sua classificação climática como tropical semiúmido, tipo Aw na classificação climática de Köppen-Geiger de acordo com Alvares et al. (2013), com estação chuvosa sujeita a se atrasar para o outono e estação seca no inverno. As temperaturas médias são superiores a 18 °C em todos os meses do ano, sendo a média anual de 22,4 °C, e índice pluviométrico de aproximadamente 1500 mm por ano, concentrados entre os meses de outubro e abril, sendo dezembro o mês de maior precipitação (298 mm). A predominância de tipo de solos é de latossolos com alto teor de argila, profundos e CAD elevada (PRADO, 2008). O balanço hídrico local (SENTELHAS et al., 1999) revela clima característico com uma época seca nos meses do inverno e concentração da precipitação ao longo das estações mais quentes, algo em geral bastante favorável para o cultivo da cana-de-açúcar, muito tradicional na região.

Durante o ano de 2018, no entanto, ocorreram fenômenos climáticos atípicos que levaram a um prolongamento da época seca nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul do país estendendo-se até o meados de outubro como pode ser observado no balanço hídrico sequencial na Figura 10, obtido pela metodologia de Sentelhas et al. (1999) e dados fornecidos pela estação meteorológica do IAC de Ribeirão Preto.

Isso refletiu diretamente nas características tecnológicas das áreas de cana, sendo portanto um ano caracterizado por quebra nas produtividades agrícolas e elevação nos valores médios de ATR por tonelada de cana, devido ao maior estímulo de estresse hídrico proporcionado pela seca.

Figura 10 –Balanço Hídrico Sequencial para Ribeirão Preto entre 2017 e 2018

4.3 Amostragem

Foram coletadas amostras de 4 materiais genéticos diferentes, sendo três clones de cana energia denominados como 33, 34 e 35 ou simplesmente como C33, C34 e C35, e uma variedade comercial IAC de cana sacarose (IACSP942094), os materiais de cana encontravam-se no sexto corte, ou seja, sexto ciclo de rebrota, e todas haviam sido colhidos em meados de setembro no ano anterior ao das coletas do presente trabalho de forma que ao início das coletas todos estavam com 8 meses de idade. Cada parcela era constituída de seis linhas de cana plantada com o espaçamento 1,5 m entre linhas, a variedade comercial IAC estava presente nas bordaduras do jardim clonal, sendo essas consistidas de quatro linhas espaçadas em 1,5 m, envolvendo todo o talhão.

As amostras foram retiradas ao acaso em uma área de 36 m² dentro de cada parcela do jardim clonal. No caso da cana sacarose, os materiais foram retirados das três linhas internas, evitando-se o efeito bordadura da primeira das quatro linhas. Entretanto, com área de coleta menor por volta de 20 m². Para cada material

genético foram coletadas 3 amostras de aproximadamente 10 a 12 colmos ao acaso, conforme ilustrado na Figura 13, para o clone C33. Os colmos retirados não sofreram desponte, porém foram despalhados por completo de forma manual descartando-se a palhada do campo, de forma a se assemelhar com o que ocorre na colheita mecanizada. Após isso, foram tomadas as medidas de altura e diâmetro, contagem de colmos por metro e pesagem do feixe de colmos, visando obter a estimativa da produtividade.

Logo em seguida os colmos foram desfibrados, para posteriormente serem separados em amostras de 500 g para realização da extração em prensa hidráulica, visando obter subamostras de aproximadamente 350 mL de caldo e 150 g de bagaço para cada amostra de cana, resultando em um total de 3 subamostras de caldo e 3 subamostras de bagaço para cada material genético em campo.

Figura 11 – Amostras de cana separadas em campo sendo da esquerda para direita clones de cana energia e cana sacarose.

Figura 12 – Visão da área experimental após colheita parcial da mesma

Figura 13 - Fluxograma de atividades, desde a coleta até análises laboratoriais.

4.4 Equipamentos

Para o processamento inicial das amostras foi utilizado um conjunto desfibrador e prensa hidráulica presentes no laboratório de qualidade tecnológica da cana presente no Centro de Cana do IAC em Ribeirão Preto como segue nas Figuras 14 e 15.

Figura 14 – Desfibrador utilizado no processamento das amostras

Figura 15 – Prensa hidráulica

4.5 Frequência de amostragem

As coletas de amostras começaram no início do mês de maio de 2018 e se estenderam até setembro de 2018 representando o período de início e o final de safra, respectivamente. A programação consistiu na realização de uma coleta de amostras a cada 15 dias. De modo que, foram coletados materiais em 9 períodos distintos ao longo do ensaio, para formação de uma curva de maturação (Tabela 5).

Tabela 5 - Frequência e quantidade de amostras coletadas no experimento

Número da Amostragem	Data	Amostras de Caldo	Amostras de Bagaço
1	14/05/2018	12	12
2	30/05/2018	12	12
3	14/06/2018	12	12
4	28/06/2018	12	12
5	05/07/2018	12	12
6	02/08/2018	12	12
7	24/08/2018	12	12
8	06/09/2018	12	12
9	20/09/2018	12	12

4.6 Análises físico-químicas

Após a desintegração e homogeneização dos colmos, para cada repetição foi retirada uma alíquota de 500 g e submetida à prensa hidráulica, de acordo com o método de Tanimoto (1964), resultando no caldo extraído, que foi utilizado para as determinações químico-tecnológicas conforme CONSECANA (2015).

Para cada amostra de caldo foram analisadas as variáveis:

4.6.1 Brix do caldo

O teor de sólidos solúveis do caldo (BRIX) foi determinado através de um refratômetro de bancada presente no laboratório de PCTS do IAC em Ribeirão Preto seguindo a metodologia adequada a 20°C (SCHENEIDER, 1979).

4.6.2 Peso do bolo úmido (PBU)

Após a prensagem da amostra de cana, o bolo úmido foi submetido à pesagem, utilizando uma balança de precisão, modelo Marte Modelo AS2000C, antes e após a passagem pela prensa hidráulica, representando o caldo que poderia ser extraído pelas moendas e o teor de umidade do bagaço que iria para a caldeira em uma unidade industrial.

4.6.3 POL do caldo

O Teor de sacarose aparente do caldo (POL) foi obtido pelo método de Schmitz em diluição segundo Scheneider (1979) O agente clarificante foi o Octapol sendo utilizada a equação:

$$POL = 0,99879 * Leitura + 0,047374 \quad \text{Equação 1}$$

Desse modo, por meio da leitura obtida pelo polarímetro automático modelo RRA Autopol I foi possível fazer a sua conversão para poder aplicar o valor nas equações do CONSECANA (2015).

4.6.4 Pureza

O fator pureza é importante na identificação do estágio de maturação dos materiais avaliados, no presente trabalho foi obtido pela equação a seguir de acordo com Fernandes (2000):

$$P = \frac{Pol}{Brix} * 100 \quad \text{Equação 2}$$

4.6.5 Fibra

Os teores de fibra foram obtidos por meio de cálculos de acordo com o manual do CONSECANA (2006) utilizando a seguinte equação:

$$F (\%) = 0,08 * PBU + 0,876 \quad \text{Equação 3}$$

4.6.6 Açúcares Redutores e Açúcares Redutores Totais

Os valores das variáveis de AR (Açúcares redutores - %) e ART (Açúcares redutores totais - %) foram determinados por meio de titulação a quente com Licor de Fehling (solução alcalina de sulfato de cobre em tampão de tartarato duplo de sódio e potássio) no Redutec de acordo com a metodologia de Lane e Eynon (1934), o equipamento utilizado foi um Redutec modelo Marconi.

Para a determinação de AR as amostras foram diluídas e posteriormente tituladas. No caso da determinação de ART foi feita também a hidrólise ácida das amostras para a titulação.

No método, o cobre do reativo de Fehling sofre processo de redução para óxido cuproso. O sal de sódio que se forma como produto primário da oxidação do AR sofre posteriormente uma oxidação na sequência da reação, (SILVA et al., 2003)

Figura 16 – Reação de oxirredução durante a titulação de acordo com a metodologia de Lane e Eynon (1934).

As leituras obtidas nas titulações foram então aplicadas nas equações da metodologia de Lane e Eynon (1934) possibilitando a obtenção de valores em gramas por litro.

4.6.7 ATR da cana

O ATR (Açúcar total recuperável) da cana foi obtido pela Equação 4 obtida do manual do CONSECANA (2015), entretanto foram utilizados os valores determinados de AR e ART nos cálculos intermediários ao invés de valores calculados como seria usual na metodologia.

$$ATR (\%) = 9,6316 * POL\ CANA + 9,15 * ARC \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

$$POL\ CANA = POL * (1 - 0,01 * (0,08 * PBU + 0,876)) * (1,0313 - 0,00575 * (0,08 * PBU + 0,876))$$

Equação 5

$$ARC \text{ (Açúcares redutores da cana)} = AR * (1 - 0,01 * (0,08 * PBU + 0,876)) * (1,0313 - 0,00575 * (0,08 * PBU + 0,876)) \quad \text{Equação 6}$$

4.6.8 Produtividade da cana

As amostras de colmo coletadas ao acaso foram pesadas (kg de colmos coletados por amostragem) e medidas (altura e diâmetro de colmos) e foi realizada em cada coleta a contagem de colmos por metro linear de sulco de cada parcela.

Para cada coleta foram calculadas as produtividades estimadas em toneladas de cana por hectare (TCH) de cada material. Para tal, foram utilizadas duas metodologias.

A primeira forma foi obtida pelo cálculo de biometria (MARTINS & LANDELL, 1995) por meio da equação 7:

$$TCHe = D^2 * C * H * \left(\frac{0,007854}{E} \right) \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

D = diâmetro de colmos(cm);

C = número de colmos por metro linear;

H = comprimento médio de colmos (cm);

E = espaçamento entre sulcos (m).

Além disso, a produtividade foi também estimada em uma área de 36 m² (área de coleta de cada parcela dos clones) e 20 m² (área de coleta da variedade comercial que estava na bordadura) e extrapolada para 1 ha ou 10000 m² através da contagem e pesagem dos colmos coletados.

Os valores de ART foram estimados considerando que cada tonelada de cana é capaz de fornecer em média 10 Kg de ART por tonelada (CONSECANA, 2015), a estimativa de fibra por sua vez foi obtida fazendo a sua relação percentual por tonelada de cana estimada por área.

As estimativas de produtividade possibilitaram conversões em quantidades de ART e fibra por área, permitindo analisar de forma mais prática os impactos finais dos resultados obtidos e extrapolar os dados do experimento no jardim clonal para áreas comerciais.

4.7 Análises estatísticas

O experimento foi conduzido em blocos ao acaso e considerando as diferentes datas de coleta como repetições para cada material. As análises estatísticas foram realizadas através do software SAS de acordo com Herzberg (1990), onde foram comparados através do teste de Tukey a 5 % de significância os resultados dos materiais entre si para a mesma data de coleta e os resultados de cada material de forma individualizada para as datas diferentes de coleta.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período de coleta das amostras, os materiais genéticos de cana energia avaliados (C33, C34 e C35) apresentaram padrões de maturação com semelhantes entre si. Esses resultados se diferenciaram de forma bastante visível da variedade de cana sacarose (IACSP942094). Entretanto, algumas das particularidades que foram observadas podem ser decisivas para sua aplicação comercial.

Durante as coletas, os genótipos de cana energia apresentaram diferenças nos teores de fibra e açúcares mais evidentes frente a disponibilização de água no solo que a variedade de cana sacarose. Resultados provavelmente relacionados com o balanço hídrico apresentado anteriormente na Figura 10 do presente trabalho, sendo que durante os meses que ocorreu reposição hídrica observou-se aumento no teor de fibra nesses materiais e mudança na forma de armazenamento de açúcares.

Ao comparar os teores de Açúcares Redutores (AR) das coletas do final de junho com as do início de agosto os valores de cana sacarose praticamente não tiveram alteração, enquanto observou-se redução de praticamente 30 % nos teores de AR dos clones de cana energia coincidindo com o início das chuvas durante agosto (Figura 10), como poderá ser analisado na Tabela 9 mais adiante.

Além disso, as condições de manejo aplicadas na área experimental do IAC em Ribeirão Preto com controle adequado de plantas invasoras e pragas juntamente com os solos presentes na região favoreceram um desenvolvimento fisiológico superior de todos os materiais analisados, permitindo que, mesmo em um ano de restrição hídrica, as produtividades observadas fossem superiores às normalmente encontrada em áreas comerciais.

5.1 Análises Biométricas

Os diâmetros médios dos colmos de cana energia variaram entre 1,3 cm e 1,9 cm para os clones C33, C34, C35, sendo muito semelhantes entre si dentro de cada período de coleta e heterogêneos entre si quando as amostragens foram realizadas em diferentes datas de coleta com um coeficiente de variação de 10,6% entre diâmetros que foram maiores e menores ao longo das datas de coleta. Por outro

lado, as amostras de colmo da variedade IACSP942094 mantiveram diâmetros médios na faixa de 2,25 cm a 2,4 cm, com pequena variação, apresentando coeficiente de Variação 2,87 % ao longo das coletas realizadas em diferentes datas. Também foi observado que os colmos de cana sacarose apresentaram, em média, o dobro do diâmetro dos colmos dos clones de cana energia (Figura 17).

Os resultados obtidos demonstraram que os diâmetros dos colmos dos clones de cana energia, bem como a morfologia desses materiais foram semelhantes aqueles encontrados no trabalho realizado por Alvim (2015) que também trabalhou com esse tipo de cana. Por outro lado, os resultados de biometria do colmos de cana sacarose corroboram com os encontrados por autores como TASSO JUNIOR (2007) e MARQUES e da SILVA (2008).

Embora tenham sido observados menores diâmetros dos colmos nos clones de cana energia do que nos colmos da cana sacarose, os clones de cana energia compensaram a produção de biomassa pelas alturas e números de perfilhos (Figuras 18 e 19). No presente trabalho, as alturas dos materiais de cana energia variaram de 2,80 m a 3,70 m, ao passo que a variedade de cana sacarose apresentou alturas na faixa de 2,10 m a 2,40 m. A contagem do número de perfilhos apresentou diferenças próximas ao dobro (100 %) comparando-se o número de perfilhos para os clones de cana energia, os quais apresentaram de 44 a 61 perfilhos por metro de linha contra a contagem de 20 a 25 perfilhos por metro de linha encontrados na variedade IACSP942094.

Entre os materiais de cana energia, o C35 destacou-se quanto ao perfilhamento, com um número próximo de 60 perfilhos por metro de linha, ao longo das todas coletas em comparação o número médio de 45 perfilhos observados para o clone C34 e 53 observados para o clone C33. Os materiais C33 e C35 apresentaram maior altura de plantas, apresentando-se sempre acima de 3,0 m, ao passo que foi observada a altura média de 2,8 m para as plantas do C34. Quanto aos diâmetros dos colmos, não foi possível observar um material específico tenha apresentado destaque perante os demais. A contagem do número de colmos ficou abaixo dos valores encontrados por Alvim (2015). Contudo, os resultados de diâmetro de colmo foram semelhantes.

Figura 17 - Diâmetros médios dos colmos dos materiais analisados

Figura 18 – Altura média dos colmos dos materiais analisados

Figura 19 – Números médios de perfilhos por metro linear de linha de cana.

Os dados de biometria dos clones de cana energia evidenciaram de forma visual o que foi observado na comparação dos parâmetros qualitativos resultantes das análises químicas de qualidade tecnológica dos materiais, onde, apesar de apresentarem menores concentrações de açúcares no caldo do que nas variedades de cana tradicional, os clones de cana energia foram capazes de compensar essa diferença através de sua maior produção de biomassa por hectare, isso decorrente tanto pela altura como pela população de colmos por unidade de área. Esse comportamento foi observado em datas onde os clones foram capazes de superar a variedade comercial em termos de açúcares redutores totais por hectare.

A seguir serão discutidos de forma individual as principais variáveis analisadas durante as etapas de coleta comparando os materiais entre si.

5.2 Brix

O teor de Brix pode ser usado como um parâmetro preliminar para determinar o estágio de maturação em diversas culturas, na cultura da cana, geralmente, utiliza-se do índice de maturação resultante de uma fração entre os valores de Brix obtidos na base e ponta dos materiais a serem avaliados. Henrique et al. (2011) utilizaram esse índice para traçar uma curva de maturação, inclusive obtendo resultados semelhantes ao encontrados com a variedade IACSP942094, avaliada no presente trabalho.

Em relação aos teores de Brix, nos clones de cana energia foi observado que os valores variaram de 10,54 ° a 18,37 ° brix. Sendo que na sétima coleta, em 06/09/2019, foi observado maior valor de Brix para os materiais de cana energia, sendo que o clone C34 atingiu o valor de 18,37 ° brix. Este ponto de coleta caracterizou o pico de maturação para esses materiais e se equiparou ao valor de Brix encontrado nas segunda e terceira coleta para cana sacarose sendo 18,82 e 18,7 ° brix, respectivamente, evidenciando as diferenças entre os materiais para esse parâmetro.

O material de cana sacarose apresentou valores de brix entre 17,15 e 23,31 °. O valor de 23,31 ° brix foi obtido no dia 24/08/2018, indicando que do ponto de vista de armazenamento de açúcares o material de cana sacarose atingiu seu ápice de açúcares em período próximo em relação aos materiais de cana energia, apesar da diferença substancial na quantidade de açúcares armazenados. A Figura 20 demonstra a curva de maturação do parâmetro Brix para os materiais.

Os valores encontrados apontam que todos os materiais de cana poderiam ter sido colhidos antes do término das análises. Fato observável a partir dos últimos dias do mês de agosto e início de setembro sendo que após essas coletas desse mês observou-se declínio nos teores de brix de todos os materiais. Esse fato pode também ser confirmado através das análises na Tabela 6, onde obteve-se diferenças significativas em 24/08 e 06/09. Além disso, referente a comparação de um material com outro notou-se que todos foram estatisticamente diferentes entre si pelo teste de Tukey com 5 % de significância.

Tabela 6 – Teores de Brix nos materiais de cana investigados ao longo das coletas

BRIX								
MATERIAL	DATA							
	14/05/2018	30/05/2018	14/06/2018	28/06/2018	05/07/2018			
C33	11,87 A a	12,34 B a	14,48 C a	14,64 CD a	15,48 E a			
C34	13,25 A b	12,96 B b	15,88 CD b	16,06 C b	15,48 E a			
C35	10,54 A c	12,68 B c	12,85 B c	13,82 C c	14,89 D b			
IACSP942094	17,15 A d	18,82 B d	18,70 B d	20,52 C d	21,32 D c			

BRIX					
MATERIAL	DATA				
	02/08/2018	24/08/2018	06/09/2018	28/09/2018	
C33	14,86 DF a	16,70 G a	15,55 E a	14,96 F a	
C34	15,66 DE b	17,34 F b	18,37 G b	16,03 C b	
C35	14,14 C c	18,08 E c	17,20 F c	14,02 C c	
IACSP942094	21,15 D d	23,31 E d	22,73 F d	19,30 C d	

Letras maiúsculas iguais, nas linhas, não são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a 5% de significância nas diferentes datas de coleta para um mesmo material.

Letras minúsculas iguais, nas colunas, não são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a 5 % de significância para os materiais analisados em uma mesma data.

Figura 20 – Variação dos teores de Brix

5.3 Peso do Bolo Úmido e Fibra

O peso do bolo úmido fornece basicamente uma representação da quantidade de umidade que resta nos materiais após a extração do caldo, essa relação permite calcular o teor de fibra (CONSECANA, 2015). No presente trabalho, com já esperado, os pesos dos materiais de cana energia foram maiores quando comparados aos de cana sacarose. Os valores de pesos de bolos úmidos observados nos materiais de cana energia ficaram entre 187,53 g e 277,16 g, enquanto os valores desse parâmetro para cana sacarose foram de 143,03 g a 166,14 g. Portanto, verifica-se o grande potencial da cana energia para a produção de biomassa, atingindo valores em entre 30 e 70 % maiores do que aqueles encontrados na variedade de cana sacarose ao longo de todo período de análises. Os resultados obtidos nesse estudo corroboram com aqueles demonstrados por Torquato & de Jesus (2015).

Consequentemente, foram observados percentuais de fibra maiores em média de 30 a 70 % na cana energia em comparação aos obtidos para a cana sacarose durante as coletas. Os clones de cana energia (C33, C34 e C35) apresentaram teores de fibra crescentes ao longo do ciclo de coletas indo de 16 a 20,6 % em valores médios e ficaram dentro do intervalo de 15 % a 23 % contra o intervalo de 12 % a 14 % da cana sacarose com uma média de 13,33 %.

Dentre os materiais de cana energia o material C33 demonstrou maior capacidade de produzir biomassa ao longo do período de coleta, com teores sempre acima de 20 % de fibra após meados de Junho. Os valores encontrados condizem com o observado para cana energia por Ogata (2013); Alvim (2015) e Lima (2016) em seus trabalhos. Referente a cana sacarose os valores de fibra foram 30 a 40 % maiores que os observados por Dalri e Cruz (2008) e assemelharam-se ao que foi encontrado por Marques e da Silva (2008), diferença provavelmente a características específicas das variedades utilizadas e objetivo almejado em cada trabalho.

O regime hídrico diferenciado no ano de coleta influenciou nos teores de PBU e fibra, foi possível observar que após um retorno, mesmo que pouco expressivo das chuvas em agosto, ocorreu aumento desses parâmetros em meados de setembro. As Figura 21 e 22 demonstram as curvas de maturação para os fatores PBU e fibra.

A análise da Tabela 7 apontou para um pico de maturação dos materiais entre 24/08 e 06/09. Apenas o material IACSP942094 se diferenciou estatisticamente, significativamente nesse caso por se tratar de uma cana sacarose.

A maior disponibilização de fibra pode ser utilizada como importante estratégia ao longo da safra, como meio de suprir o balanço energético das usinas permitindo maior flexibilização do mix de produção através da utilização de áreas com cana energia que garantam boas médias de produção de açúcar sem sacrificar a produção de etanol e energia. Autores como Ogata (2013) e Lima (2016) demonstraram em seus trabalhos o potencial energético de cana energia através de diversos usos e destinos que podem ser dados a fração fibra desses materiais principalmente por estar contida em abundância nos mesmos, esse potencial pode ser aproveitado ao máximo com o manejo correto de plantio e colheita nas indústrias.

A partir dos dados observados no presente trabalho o grande potencial esperado nos materiais de cana energia em termos de fornecimento de biomassa fica confirmado, entretanto é importante ressaltar a necessidade de estudos futuros em termos da quantidade de fibra que entra nas usinas para processamento uma vez que podem ser necessários ajustes nos equipamentos processadores para se adequar a maior quantidade de fibra seja na abertura dos equipamentos ou modificação da velocidade de processamento, uma vez que os ajustes nas unidades de preparo e extração são feitos em função de fibra e que os efeitos de desgaste podem ocorrer de acordo com microestruturas, dureza, geometria e o tamanho do elemento abrasivo, (CALTAROSSO, 2008; MARIN, 2010.).

Tabela 7 - Teores de Fibra nos materiais de cana investigados ao longo das coletas

FIBRA (%)						
MATERIAL	14/05/2018	30/05/2018	14/06/2018	28/06/2018	05/07/2018	
C33	15,34 A a	17,17 B a	18,29 C ab	21,31 D a	21,88 D a	
C34	16,09 A ab	16,96 B a	18,66 CE a	19,76 D b	16,98 B b	
C35	16,75 A b	18,47 BC b	18,21 C b	17,89 C c	18,64 BC c	
IACSP942094	12,32 A c	13,15 BC c	13,13 BC c	13,66 BD d	13,10 C d	

FIBRA (%)					
MATERIAL	DATA				
	02/08/2018	24/08/2018	06/09/2018	28/09/2018	
C33	21,78 D a	19,64 E a	22,97 F a	21,77 D a	
C34	18,41 E b	19,12 C a	21,50 F b	18,50 E b	
C35	18,25 BC b	23,05 D b	20,84 E c	19,05 B b	
IACSP942094	13,63 BCDc	13,51 BC c	14,17 D d	13,07 BC c	

Letras maiúsculas iguais, nas linhas, não são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a 5% de significância nas diferentes datas de coleta para um mesmo material.

Letras minúsculas iguais, nas colunas, não são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a 5 % de significância para os materiais analisados em uma mesma data.

Figura 21 – Curva de comportamento dos teores de PBU

Figura 22 – Variação dos teores de Fibra

5.4 Teor de sacarose aparente

A POL (teor de sacarose aparente) permite maior profundidade nas análises frente a análise de Brix, demonstrando de forma mais evidente o quanto pode ser fornecido dos materiais em termo de sacarose. (CONSECANA, 2015).

Em relação ao parâmetro POL observou-se baixa diferenciação para os materiais de cana energia ao longo das coletas, ocorreu uma variação de 5,66 % até 12,89 %. A Tabela 8 demonstra que o material C34 sempre diferiu dos materiais C33 e C35 e que todos sempre diferiram estatisticamente da cana sacarose. Foi observado um comportamento de maturação padrão para todos nos materiais estudados no período de 24/08 a 06/09. Após o mês de agosto, os teores de POL de todos os clones passaram a se diferenciar estatisticamente entre si como pode ser observado na Tabela 8. Entretanto, os comportamentos observados antes dessa data demonstraram que os materiais C33 e C35 podem ser diferenciados do material C34 e que apresentou valores até 48 % superiores aos mesmos, ficando comparativamente mais próximo dos valores observados no caldo da cana sacarose quanto a POL armazenada ao longo da maturação.

Os patamares de POL encontrados no presente trabalho foram substancialmente maiores que os encontrados por Alvim (2015) chegando a valores até 5 vezes superiores ao do autor infracitado, comprovando que existem diferenças a serem observadas ao se tratar de cana energia e que nem todos materiais podem ser agrupados da mesma forma. Devido à baixa quantidade de informações a respeito desses materiais propõe-se que os mesmos sejam classificados de acordo com a classificação sugerida Ming et al. (2006) por onde seriam todos classificados como cana energia do tipo I, com teores de fibra acima de 18 % e pol acima de 8 %.

Por outro lado, foram observados comportamentos distintos em termos de POL do material de cana sacarose quando comparado com os clones de cana energia. A variedade de cana sacarose ficou com valores de POL na faixa do esperado e já observado na literatura (GALDIANO, 2008; HENRIQUE et al., 2011) indo de 14,73 % até 21,95 %. A Figura 23 evidencia a diferença de comportamento entre os materiais, entretanto é importante destacar que a análise isolada desse fator não permite comparar o potencial da cana energia com a sacarose, pois não leva em consideração a quantidade de POL por área colhida.

Assim como pode ser observado na Figura 23, o clone C34 obteve maiores teores de POL ao longo de todo o ciclo de coletas, se distanciando mais que o observado para o parâmetro Brix. Apesar de ter sido observado nas plantas no campo experimental o florescimento moderado nas plantas do clone C34, as análises visuais da medula do colmo cortado e laboratoriais demonstraram que esse fenômeno não interferiu na qualidade tecnológica do material C34. Além disso, que os resultados até então observados apontaram que esse clone apresenta comportamento mais próximo a de uma variedade de cana sacarose do que os demais por apresentar teores de POL em média 77 % inferiores aos encontrados para cana sacarose, sendo que nos outros clones essa diferença passou de 130 % quando comparados com a cana sacarose.

Tabela 8 - Teores de POL nos materiais de cana investigados ao longo das coletas

POL						
MATERIAL	DATA					
	14/05/2018	30/05/2018	14/06/2018	28/06/2018	05/07/2018	
C33	5,66 A a	5,90 A a	7,10 B a	6,18 A a	7,34 B a	
C34	8,17 A b	7,97 A b	10,89 B b	10,83 B b	9,90 C b	
C35	5,42 A a	6,41 B a	6,97 C a	6,26 B a	7,83 D a	
IACSP942094	14,73 A c	16,64 B c	16,81 B c	19,02 C c	19,80 C c	

POL					
MATERIAL	DATA				
	02/08/2018	24/08/2018	06/09/2018	28/09/2018	
C33	7,44 B a	10,30 C a	7,69 B a	9,74 C a	
C34	10,80 B b	12,09 D b	12,89 E b	11,60 F b	
C35	6,87 C c	10,65 E c	10,70 E c	9,41 F c	
IACSP942094	19,61 C d	21,95 D d	21,35 D d	17,40 C d	

Letras maiúsculas iguais, nas linhas, não são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a 5% de significância nas diferentes datas de coleta para um mesmo material.

Letras minúsculas iguais, nas colunas, não são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a 5 % de significância para os materiais analisados em uma mesma data.

Figura 23 – Variação dos teores de POL

5.5 Teores de Açúcares Redutores

Tratando-se dos teores de açúcares redutores, foram observados valores próximos e até mais elevados do que normalmente espera-se em canas convencionais e para os materiais de cana energia, sendo que os mesmos foram de 0,33 % a 1,19 %, e de 1,1 % a 5,67 % respectivamente (MATSUOKA et al. 2014; ALVIM, 2015). Durante o ciclo investigado, os valores iniciaram com uma média de 3,6 % para os clones de cana energia no início das coletas em maio contra o valor de 1,19 % da cana sacarose. Os teores de AR nos materiais de energia permaneceram aumentando até a coleta de 05/07/2018, e a partir desta data começaram a entrar em decréscimo. Os menores valores de AR (1,10 %) que foram observados nos clones de cana energia foram comparáveis ao maior valor observado de AR para cana sacarose (1,19 %). Os resultados apresentados na Tabela 9 apontaram que o comportamento dos materiais de cana energia difere estatisticamente do observado na cana sacarose ao longo do ciclo. Os clones C33, C34 e C35 apresentaram valores consideravelmente superiores no início das coletas e que tiveram uma queda a partir do final de agosto, iniciando com um teor médio de 3,6 % entre os clones e atingindo teores mínimos médios de 1,21 %, em 28/09/2018, Isto coincidiu concomitantemente com o aumento dos valores de POL nos materiais de cana energia. No material de cana sacarose os teores de AR apresentaram decréscimo menos acentuado durante todo o ciclo investigado, passando de 1,19 a 0,22 %, se estabilizando em 24/08/2018 na faixa de 0,25 %, momento onde ocorreu o máximo teor de sacarose aparente nesse material. O comportamento da cana sacarose ocorreu dentro do esperado na literatura (TASSO JUNIOR, 2007). O comportamento da curva de maturação dos teores de AR está apresentado na Figura 24.

Os teores de Açúcares redutores (AR) demonstraram que no início da safra o uso dos materiais de cana energia possivelmente causaria dificuldades na cristalização se o interesse fosse a produção de açúcar, sendo, portanto, de maior importância e viabilidade para produção de etanol. Contudo, após o período de 06/09/2019, os teores de AR nos materiais de cana energia foram menores do que 1,5%, indicando um potencial para a produção de açúcar nesse período.

Tabela 9 –Teores de AR nos materiais de cana investigados ao longo das coletas

AR %							
MATERIAL	DATA						
	14/05/2018	30/05/2018	14/06/2018	28/06/2018	05/07/2018		
C33	4,44 ABC a	4,27 AC a	5,09 ABD a	5,58 BD a	5,67 D a		
C34	3,10 A b	2,64 A b	2,82 A b	2,83 A b	4,33 B a		
C35	3,28 A b	3,69 AB c	3,25 A c	4,73 CD c	5,49 D a		
IACSP942094	1,19 A c	0,70 B d	0,68 B d	0,39 C d	0,33 CD b		

AR %					
MATERIAL	DATA				
	02/08/2018	24/08/2018	06/09/2018	28/09/2018	
C33	4,68 ABCD a	3,52 C a	2,26 E a	1,38 E a	
C34	2,93 A b	2,82 A a	1,36 C b	1,10 C b	
C35	4,37 BC a	4,63 BCD b	1,62 E b	1,15 E c	
IACSP942094	0,39 C c	0,25 D c	0,22 D c	0,23 D d	

Letras maiúsculas iguais, nas linhas, não são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a 5% de significância nas diferentes datas de coleta para um mesmo material.

Letras minúsculas iguais, nas colunas, não são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a 5 % de significância para os materiais analisados em uma mesma data.

Figura 24 – Variação dos teores de AR

Na Figura 24 observa-se que os materiais de cana energia apresentaram maiores acúmulos de açúcares redutores no mês de Julho, provavelmente induzido pela redução de temperatura de uma média de 23,9 °C em abril para 21,25 °C em julho, e déficit hídrico acentuado de 60 mm negativos no extrato do balanço hídrico mensal que o solo encontrava-se no momento. A literatura aponta essas condições como ideias para induzir a maturação e início do acúmulo de sacarose nos colmos da cana (CAMARA, 1993), isso de fato foi observado na cana sacarose, entretanto nos materiais de cana energia ocorreu predominância no acúmulo de açúcares redutores, indicando que as respostas da cana energia podem ser semelhantes a da cana sacarose em termos de armazenamento de açúcares, alterando-se apenas a forma de armazenamento. No caso da cana sacarose, após o mês de junho os valores de açúcares redutores sofreram poucas modificações, passando a elevar seu teor de ART como será visto a seguir. Novamente o material C34 apresentou-se em um ponto entre a variedade IACSP942094 e os demais materiais de cana energia com valores de AR em torno de 45 % inferiores aos dos clones C33 e C35 e até 5 vezes superior aos teores de AR da cana sacarose.

5.6 Teores de açúcares redutores totais

Diferentemente do observado nos teores de AR, nesse caso os resultados demonstram a quantidade total de açúcares presentes, incluindo a sacarose, que é o componente de interesse na produção de açúcar cristalizado. Os valores encontrados para ART mostraram-se bastante semelhantes ao longo do período de coleta para os materiais de cana energia, as variações foram de 8,45 % a 14,94 %. Já para a cana sacarose a variação foi de 14,85% a 26,29% de forma que possibilita notar que o menor valor encontrado para cana sacarose foi semelhante ao maior encontrado para os materiais de cana energia, reforçando o fato de que os mesmos possuem composição predominante em açúcares redutores e baixo teor de sacarose (TEW; COBILL, 2008; MATSUOKA et al., 2014).

Além disso, enquanto os valores de ART foram crescentes para a cana sacarose até o dia 24/08/2018, não foram observadas diferenças estatísticas significativas para os clones de cana energia ao longo do ciclo de coletas. O pico de maturação para a cana sacarose ocorreu em 24/08/2018 juntamente com o dos

clones C33 e C35, o clone C34 teve seu pico de maturação em 06/09/2018. Esses dados podem ser observados na Tabela 10 e na Figura 25 que contém informações da curva de maturação para esse fator.

Tabela 10 – Teores de ART nos materiais de cana investigados ao longo das coletas

ART %						
MATERIAL	DATA					
	14/05/2018	30/05/2018	14/06/2018	28/06/2018	05/07/2018	
C33	10,16 A ab	9,74 A a	12,22 B a	11,39 B a	11,95 B a	
C34	10,24 A a	10,57 AB a	12,77 CD a	12,77 CD b	11,68 BC a	
C35	8,45 A b	10,47 B a	10,14 B b	10,90 BC a	11,75 C a	
IACSP942094	14,85 A c	21,09 B b	19,99 B c	23,02 C d	22,83 C b	

ART %					
MATERIAL	DATA				
	02/08/2018	24/08/2018	06/09/2018	28/09/2018	
C33	12,20 B a	13,42 C a	11,67 B a	11,89 B a	
C34	12,66 CD a	13,62 C a	14,94 E b	12,94 C b	
C35	11,03 BC b	14,79 D b	13,76 E c	11,44 C c	
IACSP942094	22,44 C c	26,29 D d	25,20 D d	20,36 B d	

Letras maiúsculas iguais, nas linhas, não são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a 5% de significância nas diferentes datas de coleta para um mesmo material.
 Letras minúsculas iguais, nas colunas, não são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a 5 % de significância para os materiais analisados em uma mesma data.

Figura 25 – Variação dos teores de ART

Assim como demonstrado na Figura 25, os materiais de cana energia apresentaram características diferentes em relação a forma de acumular sacarose quando comparadas a cana sacarose. Em alguns pontos da curva de ART foi possível observar que os teores de AR correspondiam por praticamente metade da composição de ART nos clones de cana energia fato que só se alterou após o mês de agosto e início de setembro, onde ocorreu diminuição nos valores de AR com manutenção nos valores de ART, esse ponto seria ideal para a colheita desses materiais do ponto de vista de produção de açúcar. Entretanto, se a intenção for a produção de etanol a colheita poderia ter sido antecipada, ocorrendo entre Julho e Agosto. Apesar de possuírem teores mais baixos de ART por unidade de volume de caldo quando comparados a cana sacarose, os clones de cana energia podem compensar esse menor concentração no caldo pela sua elevada produtividade agrícola ($t\ ha^{-1}$), fator que justificaria que a colheita ocorresse na época citada.

O acúmulo preferencial de açúcares redutores (glicose e frutose) na cana energia é uma característica já bastante conhecida e difundida na literatura, conforme já destacado por Alexander (1985), Tew e Cobill (2008), Matsuoka (2014) e Alvim (2015) e se consolida no presente trabalho. Entretanto, a observação de valores de ART acima de 10 % e valores de AR na faixa de 1,2 % nas duas últimas coletas realizadas revela o potencial de se aproveitar esses materiais para a

produção de açúcar, que pode ser bem trabalhado através de uma manejo adequado da colheita pensando-se do ponto de vista comercial.

Para a cana sacarose os valores de ART encontrados demonstraram que a cultivar avaliada apresenta bom potencial produtivo em termos de armazenamento de açúcar e ficaram por volta de 10 % maiores do que os valores encontrados por Dalri e Cruz (2008) e Marques e da Silva (2008).

5.7 Pureza

Os teores de pureza dos caldos dos clones de cana energia variaram de 42 % a 72 % sendo os valores máximo de pureza atingidos nas duas últimas datas de coleta no mês de setembro, onde os materiais apresentaram os máximos valores de POL e menores valores de AR durante as coletas. Entretanto, foi possível observar que o material do clone C34 se destacou em relação aos demais clones estudados, apresentando pureza do caldo sempre acima de 62 %. Sendo esse material aquele que mais se aproximou dos valores de pureza encontrados para a cana sacarose, que ficaram entre 86 % e 94 %.

Os valores de pureza encontrados para cana sacarose ficaram dentro do esperado conforme a literatura. Novamente em termos da classificação proposta por Ming et al. (2006), os clones C33, C34 e C35 estariam classificados como cana energia do tipo I, os percentuais de pureza desses materiais estão abaixo dos encontrados pela literatura para cana sacarose (TASSO JUNIOR, 2007; DALRI e CRUZ, 2008; SILVA et al., 2014). Entretanto, os valores de pureza encontrados para os clones de cana energia ficaram próximos dos valores encontrados por Marques e da Silva (2008) que buscavam a utilização da cana sacarose como material forrageiro, o material C34 foi o que mais se aproximou das características de pureza dos materiais avaliados por esses autores se diferenciando dos outros dois avaliados no presente trabalho.

A análise do parâmetro pureza possibilita fazer inferências sobre o ponto de maturação da cana e viabilidade para colheita, como pode-se notar se for utilizada a metodologia comum considerando uma cana com pureza acima de 85 % como adequada para colheita (CONSECANA, 2015), segundo esse valor para o parâmetro em discussão, nenhum dos materiais de cana energia estariam aptos para a

colheita, já o material de cana sacarose avaliado estaria apto desde a primeira análise realizada onde já se encontrava com pureza acima de 85 %. Essa informação deixa evidente a importância da adoção de valores de referência de pureza para a colheita de cana energia diferentes daqueles adotados para a cana sacarose, já que com base nos parâmetros AR, POL e ART foi possível observar aptidão dos materiais de cana energia para produção de energia, etanol e açúcar de acordo com a época de colheita, isso porque mesmo quando foram observados valores razoáveis de AR que poderiam potencializar a produção de etanol em julho ou de POL e ART que poderiam possibilitar a produção de açúcar em setembro, os valores de pureza estiveram sempre abaixo de 85 %.

A observação dos teores de pureza para os materiais de cana energia também evidencia sua baixa concentração de sacarose em relação aos teores de brix ao longo das coletas, com leve aumento na pureza e consequentemente na quantidade de sacarose nas duas últimas datas em setembro. A Figura 26 demonstra a curva de maturação de pureza.

Figura 26 – Variação dos teores de pureza

5.8 Produtividade de cana em toneladas de colmos por hectare

No tocante às produtividades de cana, em tonelada de colmos por hectare (TCH) determinadas em cada período de coleta, foram observados valores semelhantes aos encontrados por Matsuoka (2010) ao comparar cana energia e cana sacarose. Dessa forma as produtividades encontradas para os clones de cana energia foram, em média, 100 toneladas por hectare maiores do que as produtividades obtidas com a cana sacarose.

Por se tratar de uma amostragem setorial ocorreram diferenças entre as produtividades obtidas para cada material embora não seja muito comum a variação em produtividade após o início da safra, onde espera-se que os colmos reduzam seu crescimento vegetativo privilegiando o armazenamento de sacarose (CAMARA, 1993).

As variações observadas ao longo das coletas para a produtividade em TCH para cana sacarose foram pouco significativas com praticamente nenhum tipo de resposta perante a reposição hídrica ocorrida em agosto como foi observado no balanço hídrico sequencial da região (Figura 10). Por outro lado para os clones de cana energia, notou-se o contrário, ou seja, os materiais de cana energia apresentaram grande heterogeneidade em termos de TCH ao longo dos períodos de coletas. Essa característica pode indicar algumas observações a serem feitas a respeito desse tipo de material. Primeiramente, que os mesmos apresentam maior variabilidade nas características morfológicas dos seus perfilhos no campo, durante as datas de coletas observou-se colmos em estádios diferentes de desenvolvimento e com pesos e alturas distintos de 20 até 50 % entre si para o mesmo material. A segunda observação a ser feita refere-se a uma aparente resposta diferenciada desses materiais a disponibilização de água no solo, com respostas mais rápidas a reposição de água no solo observável em meados de agosto quando começou a ocorrer reposição hídrica no solo (Figura 10) e aparentemente uma característica genética expressando em seu fenótipo maior potencial para tolerar situações de déficit hídrico devido ao seu sistema radicular melhor desenvolvido e menor exigência hídrica, assim como observado por Ulisses (2016), em seu trabalho.

As produtividades encontradas para a cana sacarose assemelham-se aos resultados de autores como Marchiori (2004) e Silva et al. (2014). Entretanto, é importante destacar que todas as produtividades observadas, independentemente

do material, estão bem acima da atual média nacional que é de 80 toneladas de cana por hectare (UNICA, 2018). Isso se deve a diversos fatores inerentes a forma de amostragem no campo e também a fatores agronômicos desde condições de ambiente de produção (solo, clima, relevo) até os tratos culturais, sendo que no referido campo encontra-se praticamente todas condições favoráveis para um ótimo desenvolvimento da cultura da cana.

Dessa forma, as produtividades obtidas foram entre 20 TCH (cana sacarose) e 200 TCH (cana energia) maiores do que a média nacional. Esses não surpreendem devido ao local de cultivo e tratos culturais ali realizados, fato também demonstrado pelo elevado perfilhamento encontrado para cana sacarose com até 25 perfilhos por metro de linha de cana. Provando que se pode melhorar de forma significativa as produtividades em TCH em áreas comerciais através da utilização de técnicas agronômicas adequadas. As curvas de produtividades investigados encontram-se na Figura 27.

Figura 27 - Produtividade, em $t\ ha^{-1}$, em materiais de cana energia e cana sacarose, no decorrer dos períodos de coleta.

5.9 Produtividade de cana expressa em quantidade de fibra

Ao analisar os dados de massa de fibra por hectare, observa-se que todos os materiais de cana energia apresentaram teores de biomassa maiores do que a cana de açúcar sacarose.

Os clones de cana energia produziram quantidades de fibra que variaram de 27,5 e 50,5 t ha⁻¹. Segundo May et al. (2013), para sorgo biomassa o potencial de produção de matéria seca (MS) seria de cerca de 31 t ha⁻¹ valor próximo ao limite inferior de produtividade expressa em quantidade de fibra encontrado para os clones de cana energia no presente trabalho. Os valores obtidos por Lesle et al. (2001) em seu trabalho para *Eucalyptus pellita* aos 52 meses de idade, variou entre 20 e 70 t ha⁻¹, Queno et al. (2011) aponta valores de 48 t ha⁻¹ aos 24 meses de idade e de até 121 t ha⁻¹ para espécies do gênero *Eucalyptus* aos 72 meses de idade. Os valores encontrados por Lesle et al. (2001) ficam próximos da faixa de produção dos clones de cana energia atingida para apenas um ciclo após aproximadamente 12 meses de sua colheita enquanto os valores apontados por Queno et al. (2011) poderiam ser alcançadas com 2 ou 3 ciclos de colheita dos clones de cana energia, ou seja, demanda a metade do tempo necessária para atingir a mesma produção de biomassa dos Eucaliptos.

O material de cana sacarose estudado apresentou produções de fibra na faixa de 12,73 a 15,32 t ha⁻¹. Estes valores indicam que os clones de cana energia foram capazes de produzir cerca de 2,87 vezes mais t fibra ha⁻¹ do que a cana sacarose, de forma que 1 ha plantado com cana energia corresponde 2,87 ha plantados com cana sacarose, em termos de produtividade de fibra. Buscando-se o fornecimento de biomassa para processamento industrial seria possível aumentar em quase 3 vezes a produção de fibra sem alterar o tamanho da área plantada. Os valores encontrados para cana energia podem ser confrontados com a literatura obtendo-se semelhança com os resultados descritos por outros autores (MACEDO, 2005; TEW e COBILL, 2008; VIOLANTE, 2012). No caso da cana sacarose os resultados também se aproximaram dos encontrados na literatura (TASSO JUNIOR, 2007; MARQUES E DA SILVA, 2008).

O aumento considerável na produtividade de fibra proporcionado pela cana energia pode proporcionar situações favoráveis em sistemas de produção que utilizam fundamentalmente cana como matéria prima através da redução dos custos

de produção devido ao melhor aproveitamento das áreas de plantio e otimização dos processos de colheita e transporte. Além disso, em unidades que produzem etanol utilizando milho como matéria prima a introdução desses materiais poderia substituir outras fontes de biomassa, como eucalipto, fornecendo quantidades de biomassa semelhantes em praticamente um terço do tempo, como já ficou demonstrado no presente trabalho, e possuindo ainda capacidade de fornecer caldo adequado para a fermentação em termos de ART, levando um incremento na capacidade de produção de etanol, algo que só seria possível a partir de eucalipto a partir de etanol de segunda geração.

Na Figura 28, verifica-se que as curvas da produtividade dos teores de fibra em função da produtividade por hectare.

Figura 28 - Produtividade de fibra, em t ha⁻¹, obtida ao longo dos períodos de coleta.

5.10 Produtividade de cana expressa em quantidade de ART

As informações de produtividade em açúcares redutores totais (ART), $t\ ha^{-1}$, demonstraram a considerável importância de estudos para o aprimoramento dos materiais de cana energia. Os resultados médios obtidos para os clones C33, C34 e C35, chegaram a valores de 19 a $30\ t\ ha^{-1}$, valores semelhantes aos da cana sacarose (IACSP942094), 19 a $27\ t\ ha^{-1}$. O clone C35 obteve melhores resultados que a cana sacarose em todas as datas de coleta. Devido sua elevada produtividade apresentou valores em média 15 % acima dos encontrados para a cana sacarose. Já os materiais C33 e C34 apresentaram desempenho semelhante ao da cana sacarose ao longo do ciclo de coletas, entretanto nas datas de 14/06/2018 e 02/08/2018 todos os clones superaram, com valores 17 % maiores, a cana sacarose em termos de ART $t\ ha^{-1}$.

Esses resultados demonstram o potencial promissor para a cana energia em termos de fornecimento de açúcar para a indústria. Além disso, apresentando maior capacidade de fornecer fibra, por unidade de área plantada, para a usina, o que poderia suprir a falta de fibra da cana sacarose em momentos críticos da safra. Cultivares obtidos futuramente com essas características podem abrir possibilidades de expansão de processos nas unidades industriais, acrescentando um maior potencial de cogeração e até mesmo produção de etanol de segunda geração através do bagaço excedente obtido.

A hipótese de utilizar esses materiais como fonte de biomassa (fibra e açúcar) para as usinas produtoras de etanol a partir de milho demonstra-se viável a partir dos presentes resultados, uma vez que os materiais analisados foram capazes de fornecer ART semelhantes aos fornecidos pela cana sacarose. Dessa forma, propõe-se que a partir desse trabalho sejam realizados estudos futuros que trabalhem a aplicação dessa hipótese de forma direta, buscando demonstrar os impactos operacionais e financeiros trazidos por essa alteração nos atuais sistemas de produção utilizados.

Os resultados em produtividade de ART por hectare, obtidos neste estudo, reforçam novamente que a proposta de Alexander (1985) para a utilização, do que era chamado pela primeira vez, como cana energia, poderia ter atingido patamares diferentes se a atual situação de demanda energética global pudesse ter sido

visualizada na época. A curva obtida para a produtividade de ART em função dos materiais é demonstrada na Figura 29.

Figura 29 - Produtividade de ART, em t ha⁻¹, ao longo dos períodos de coleta.

5.11 Avaliação do desempenho dos materiais no ensaio

A partir de todos os resultados demonstrados das Figuras 17 a 29 foi possível fazer as seguintes observações a respeito dos materiais avaliados.

Primeiramente, tratando-se das características morfológicas foram observadas grandes diferenças no porte e no número de perfilhos por metro linear de linha entre os clones C33, C34 e C35 quando comparados a variedade IACSP942094. Esta, por sua vez, apresentou aproximadamente o dobro do diâmetro de colmo do que os materiais de cana energia e metade do número de perfilhos por metro linear de linha. Todos os materiais, apesar do estresse provocado pelo déficit hídrico que chegou a - 60 mm durante a época de colheita, expressaram excelentes potenciais de produtividade com elevado perfilhamento, principalmente por se tratar de uma área experimental no sexto corte das canas ali cultivadas. Entretanto os clones de cana energia demonstraram melhor resposta em

termos de produtividade que a variedade IACSP942094 frente a reposição hídrica no solo.

Os clones de cana energia são fornecedores de biomassa de elevado potencial, superando fontes como eucalipto e sorgo biomassa devido a sua elevada produtividade e ciclo mais curto em relação ao eucalipto. Como já esperado, todos os materiais de cana energia apresentaram teores de fibra superiores aos encontrados para a cana sacarose em até 70 %, fato que foi inversamente proporcional ao se comparar o teor de sacarose entre os materiais investigados, onde a cana sacarose apresentou resultados superiores na ordem de 130 % em termos de POL.

Entretanto, os teores de açúcares redutores totais (ART) dos clones de cana energia, em especial do material C35, chamaram a atenção por apresentarem produtividade de ART ($t\ ha^{-1}$) semelhantes ou superiores àquela observada com a variedade a IACSP942094. O material C35 destacou-se como melhor fornecedor de biomassa e ART por unidade de área, isso ocorreu devido a sua alta produtividade em campo, com elevado perfilhamento e altura dos colmos compensando seus menores diâmetros e menor concentração de sacarose ao comparados com a variedade IACSP942094.

É importante destacar que, apesar da proximidade em valores de ART por hectare entre os materiais avaliados, as composições não são as mesmas já que a cana energia apresenta altos teores de AR em sua composição, sendo que do início das coletas até meados de julho foram observados valores de AR próximos aos de POL, inverso do que ocorreu na cana sacarose, onde os valores de AR sempre estiveram abaixo de 3 % dos valores encontrados para POL.

Comparando os materiais C33, C34 e C35 entre si observou-se que todos apresentam características de cana energia do Tipo I, conforme a definição elaborada por Ming et al. (2006). Segundo esses autores, apesar do alto teor de fibra (na maioria dos pontos acima de 18%) os matérias de cana energia Tipo I ainda permitem a sua utilização para a produção de etanol por apresentar razoáveis teores de açúcares redutores totais por volta de 10 % ao longo das coletas, que se compensa devido a sua elevada produtividade.

O material C35 se destacou por fornecer quantidades de ART por unidade de área plantada superiores às quantidades de ART da variedade IACSP942094, em todas as datas de coleta, provando que com um bom escalonamento de colheita é

possível obter resultados interessantes com cana energia, inclusive utilizando-a em conjunto com variedades convencionais, caso as unidades de extração da usina estejam aptas para tal manejo.

O material C34 apresentou características mais próximas de um material de cana sacarose, com produtividade menor e maiores teores de POL e ART mesmo sendo inferior ao material C35 em termos de fornecimento de ART por área plantada. Esse foi o único material que floresceu durante as análises, porém sem afetar de forma significativa suas características tecnológicas, diferenciando-o dos efeitos de isoporização visual que comumente são notados nos canaviais convencionais.

Por outro lado, entre os três materiais de cana energia, o material C33 foi o que mais se aproximou de uma cana energia do tipo II por possuir teores de fibra e AR mais elevados, entre os materiais de cana energia investigados, ao longo do ciclo. No entanto, esse clone não apresentou produtividades tão elevadas quanto o C35, sendo aparentemente menos viável no caso de uma aplicação comercial.

Os materiais de cana energia analisados apresentaram características de maturação tardia em termos de armazenamento de sacarose, entretanto as elevadas concentrações de açúcares redutores observadas no início das coletas permitem sua utilização se o enfoque não for a produção de açúcar. A cultivar IACSP942094 demonstrou-se apta para colheita no meio de safra, esse resultado foi observado também por Henrique et al. (2011)

Os clones de cana energia demonstraram potencial de utilização para enfoques diferenciados no processo produtivo, podendo servir como fonte de biomassa visando a produção de energia e etanol de primeira e segunda geração, no início de safra onde já apresentaram teores elevados de fibra e de AR, que é predominante na composição de ART nesse momento. Por outro lado, após o meio ao final de safra, podem fornecer sacarose para produção de açúcar devido a redução da participação de AR na composição de ART. A variação de maturação apresentada pelos materiais corresponde ao observado por Scarpari (2007) e Cardoso (2012) em termos de diferenças observadas devido à influência climática na maturação e tendência na redução de variabilidade entre materiais comparados após o meio de safra (agosto).

Os clones de cana energia, em destaque o C35, apresentaram competitividade perante a variedade de cana sacarose devido a sua elevada

produtividade que permitiu que os mesmos chegassem a resultados semelhantes em termos de ART por unidade de área. Além disso, pelo seu porte e velocidade de maturação infere-se que esses materiais podem ainda fornecer dois cortes por ano se o objetivo for focado na produção de etanol e energia.

Dessa forma, de acordo com o que já foi discutido anteriormente, os clones avaliados no presente trabalho são potenciais fornecedores de biomassa ao longo da safra e poderiam ser aplicados do início ao meio de safra, suprimindo as demandas de biomassa para geração energética e ainda servindo como matéria prima para a produção de etanol, principalmente em unidades que tem como matéria prima principal para produção de etanol o milho. Ainda, de acordo com o observado, seria possível a produção de açúcar em sistemas de produção, consorciados ou não, com cana sacarose se a colheita desses materiais fosse atrasada para os meses finais da safra devido a alteração da composição de ART nos mesmos nesse período.

6. CONCLUSÕES

Conclui-se que os clones de cana energia (C33, C34 e C35) apresentaram capacidade de produzir entre 30% a 70% mais fibra por unidade de massa do que a variedade cana sacarose IACSP942094 ao longo das coletas, entretanto com caldo com teores de POL 100 % menores comparativamente a cana sacarose. Além disso, os clones de cana energia apresentaram pureza sempre inferior a 85 %, demonstrando que esse valor de parâmetro não pode ser utilizado para definir o momento para iniciar a colheita de materiais de cana energia.

A concentração de AR elevada foi predominante nos clones até as coletas de julho, sendo que após esse período passou a ocorrer acúmulo de sacarose nos mesmos, sem alterações significativas na variação de ART.

A elevada produtividade agrícola de biomassa nos clones C33, C34 e C35 foi determinante na definição de sua competitividade perante a variedade IACSP942094, de forma que os clones superaram significativamente a variedade em termos de produção de fibra por unidade de área plantada e mostraram-se equivalentes ou superiores a mesma em questão de produtividade expressa em quantidade de ART em função de área plantada.

As curvas de maturação demonstram que os clones de cana energia avaliados podem ser manejados para colheita do início ao meio de safra, com objetivo de produção de etanol e energia, devido às maiores concentrações de AR no caldo e a elevada concentração de fibra nesses materiais durante esse período. Além disso, no final da safra (setembro) os baixos teores de AR nos caldos de clones de cana energia indicam maior potencial de aproveitamento para a produção de açúcar nesse período de safra, mantendo-se a elevada concentração de fibra.

Os materiais demonstraram potencial adequado para aplicação em diferentes sistemas de produção, sendo em consórcio com cana sacarose ou milho, atuando como fornecedores de fibra e açúcares nos processos, que poderia suprir o balanço energético das usinas permitindo maior flexibilização do mix de produção através da utilização desses materiais em conjunto com o manejo correto, garantindo boas médias de produção de açúcar, sem sacrificar a produção de etanol e energia.

7. PROPOSTA DE ESTUDOS POSTERIORES

Sugere-se como estudos posteriores, trabalhos que busquem ampliar o conhecimento da melhor forma de manejar os materiais de cana energia buscando extrair dos mesmos seu máximo potencial, seja para fornecer biomassa ou açúcares dependendo do interesse do processo em que os mesmos venham a ser utilizados. Sua aplicação na produção de etanol de milho poderia atuar de forma relevante, interferindo inclusive na sustentabilidade de processo.

Para obtenção de tais resultados sugere-se a avaliação da maturação dos materiais de cana energia desde o início de seu ciclo de crescimento, ou seja, após a rebrota. Também que isso seja repetido no tempo, visando reduzir a influência de anomalias climáticas e ampliar a série de dados disponíveis, que atualmente é escassa.

REFERÊNCIAS

- AGUILAR, A.; PEÑA, U.; FRIEDMAN, P.; BRITO, B. **Propiedades físico-químicas de los materiales lignocelulósicos de la caña.** Revista Cuba Azúcar, Enero-Marzo, Cuba, 1989.
- ALEXANDER, A. G. **Sugarcane physiology:** a comprehensive study of *Saccharum* source-to-sink system Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 1973.
- ALEXANDER, A. G. *The Energy Cane Alternative*, Elsevier, Amsterdam. The Netherlands, 1985.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711 – 728, 2013.
- ALVES, A. F. **Utilização do bagaço de cana-de-açúcar para a produção de energia**, PUBVET: Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia, Londrina, v. 2, n. 29, 2008. Disponível em: <<http://www.pubvet.com.br/texto.php?id=286>>. Acesso em: 20 Out. 2017.
- ALVIM, R. K. **Seleção de progênies de cruzamentos entre *Saccharum spontaneum* e cana-de-açúcar para a produção de bioenergia:** 2015 55 p. Tese (Doutorado em Agronomia) Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Jaboticabal-SP, 2015.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº13, de 30 de junho de 2005. Aprova o Regulamento Técnico para Fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para Aguardente de Cana e para Cachaça. **Diário Oficial da União**, Brasília DF, 30 jun. 2005, Seção 1.
- BARBIERI, V. Condicionamento climático da produtividade potencial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*): Um modelo matemático-fisiológico de estimativa. Piracicaba, 1993. 140p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- BARBOSA, G. V. D. S.; SOUSA, A. J. R.; ROCHA, A. M. C.; SANTOS, V. P. S.; RIBEIRO, C. A. G.; BARRETO, E. J. S.; MOURA FILHO, G.; SOUZA, J. L.; FERREIRA, J. L. C.; SOARES, L.; CRUZ, M. M.; FERREIRA, P. V.; SILVA, W. C. M. **Três novas variedades RB de cana-de-açúcar.** Rio Largo: UFAL/CECA, 2003. 16p
- BARBOSA, G. V. D. S. **Contribuição do Melhoramento genético da cana-de-açúcar para a agroindústria de Alagoas.** 2014 113 p. Tese (Doutorado em produção vegetal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

BARBOSA, R. M.; RAMOS, S. D. **Perspectivas De Crescimento Da Cogeração À Biomassa De Cana-De-Açúcar Na Composição Da Matriz Energética Brasileira**, Agrener GD, 2015. 10º Congresso sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural; Universidade de São Paulo – USP – São Paulo.

BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL; CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro, 2008. 316 p.

BRANDES, E.W., G.B. SARTORIS, AND C.O. GRASSL. Assembling and evaluating 48 wild forms of sugarcane and related plants. **Proceedings International Society of Sugar Cane Technologists**. v. 3 p.408–415, 1939.

CARDOZO, N. P. **Modelagem da maturação da cana-de-açúcar em função de variáveis meteorológicas** 2012 201 p. Dissertação (Mestrado em ciências) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba - SP, 2012.

CASTRO, P. R. C., Maturadores Químicos em cana-de-açúcar. In: SEMANA DA CANA-DE-ÁÇUCAR DE PIRACICABA, 4., Piracicaba, 1999. Anais. Saccharum, v.1, p. 12-16, 1999.

CALTAROSSO, F. Análise de tensões em equipamentos de moagem da cana-de-açúcar usando métodos dos elementos finitos. 2008. 204p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) –Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

CAMARA, G. M. S.; OLIVEIRA E. A. M. Produção de cana-de-açúcar. **FEALQ**, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo: Departamento de Agricultura, Piracicaba, 1993.

CONSECANA - Conselho de Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Etanol do Estado de São Paulo. Manual de instruções do CONSECANA 6 ed. 2015, Disponível em: <<https://www.consecana.com.br/login.asp?url=manual.asp>> Acesso em: 02 Fev 2018.

CRESTE, S.; PINTO, L. R.; XAVIER, M. A.; LANDELL, M. G. A. **A importância do germoplasma no desenvolvimento de cultivares de cana-de-açúcar com perfil agroenergético**. In: Luis Augusto Barbosa Cortez. (Org.). Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade. 1 ed. São Paulo: Blucher, 2010, p. 313-317.

DALRI, A. B.; CRUZ, R. L.. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 516-524, Sept. 2008. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-9162008000300012&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 18 Dez 2018.

DANTAS, G. A.; de CASTRO, N.J. **O uso do Bagaço e da Palha: Bioeletricidade ou etanol celulósico?**. In: I Workshop do Infosucro sobre impactos Econômicos e Tecnológicos da Indústria Sucrualcoleira no Brasil. Rio de Janeiro, Novembro de 2008.

DANIELS, J.; ROACH, B.T. 1987. Taxonomy and evolution. p.7-84. In Heinz, D.J. (ed.) **Sugarcane improvement through breeding**. Elsevier, Amsterdam.
D'HONT, A.; GRIVET, L.; FELDMANN, P.; RAO, S.; BERDING, N.; GLASZMANN, J.C. Characterisation of the double genome structure of modern sugarcane cultivars (*Saccharum* spp.) by molecular cytogenetics. **Mol Gen Genet** n. 250 p.405-413, 1996.

FERNANDES, A. C. Refratômetro de campo. Boletim Técnico Copersucar, São Paulo, v. 19, p. 5-12, 1982.

FERNANDES, A. C.; BENDA, G. T. A. **Distribution patterns of Brix and fibre in the primary stalk of sugar cane**. *Sugar Cane*, v. 5, p. 8-13, 1985.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na Agroindústria da cana-de-açúcar**. Piracicaba, STAB: Açúcar Álcool e Subprodutos. p. 193, 2000.

FONSECA, B.G. **Destoxificação biológica de hidrolisado hemicelulósico de bagaço de cana-de-açúcar empregando as leveduras *Issatchenkia oC35identalis* e *Issatchenkiaorientalis***. 2009. 110 p. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Aplicada) - Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2009.

GASCHO, G. J.; SHIH, S. F. Sugarcane. In: TEARE, I. D.; PEET, M. M. (Ed.). *Crop-waterrelations*. New York: Wiley-Interscience, 1983. p. 445-479.

GALDIANO, L. C. **Qualidade da Cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) submetida à aplicação de maturadores químicos em final de safra**. 2008. 45 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, 2008

GHELLER, A. C. A. Fatores que afetam o desempenho de maturadores e reguladores de crescimento em cana-de-açúcar. IN: SEMANA DA CANA-DE-AÇÚCAR DE PIRACICABA, 4. Piracicaba, 1999. **Anais**. Piracicaba.

GRANBIO – Cana Energia – Disponível em:

<<http://www.granbio.com.br/conteudos/cana-energia/>> Acesso em: 10 Maio 2018.

GRAVOIS, K.A.; MILLIGAN, S.B. **Genetic relationship between fiber and sugar cane yield components**. Crop Science. 32:62-67, 1992.

GÓMEZ, E. O.; de SOUZA, R. T. G.; ROCHA, G. J. de M.; ALMEIDA, E. de; CORTEZ, L. A. B.; "SUGARCANE TRASH AS FEEDSTOCK FOR SECOND GENERATION PROCESSES", p. 637 -660. In: (COORD.), Luis Augusto Barbosa Cortez. **Sugarcane bioethanol — R&D for Productivity and Sustainability**. São Paulo: Blucher, 2014.

HAMMOND, B. W. *Saccharum spontaneum* (Gramineae) in Panama: The physiology and ecology of invasion. **Journal of Sustainable Forestry**, v.8, n.3-4, p.23-38, 1998.

HE, S. Q.; YANG, F.; XIAO, F.; ZHANG, L.; Collection and description of basic germplasm of sugarcane (*Saccharum* complex) in China. International. **Sugar Journal**. v. 101, n. 84, p.93. 1999.

HENRIQUE, C.; de CAMARGO M. S.; FOLTRAN, D. E. QUALIDADE TECNOLÓGICA E ÉPOCAS DE COLHEITA DE NOVE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR PARA TIETÊ/ SP. **Colloquium Agrariae**. ISSN: 1809-8215, América do Norte, 716 02 2011. Disponível em: <<http://revistas.unoeste.br/revistas/ojs/index.php/ca/article/view/436/877>>. Acesso em: 12 Junho 2018

HERZBERG, P. A. **How SAS works: a comprehensive introduction to the SAS system**. Ottawa: Captus Press, 1990. 193p.

HILL, J.; NELSON, E.; TILMAN, D.; POLASKY, S.; TIFFANY, D. **Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels**. *Proceedings of the National Academy of Science* 103(43):11206-11210. 2006

HOGARTH, D.M. *Genetics of sugarcane*. In: Heinz DJ (ed) *Sugarcane Improvement through Breeding*. Amsterdam: Elsevier Press. p.255-271. 1987.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em:

<<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/188#resultado>> Acesso em: 04 de Junho 2018

JOHNSON, J. M-F.; COLEMAN, M.D.; GESH, R.; JARADAT, A.; MITCHELL, R.; REICOSKY, D.; WILHELM, W.W. **Biomass-bioenergycrops in the United States: a changing paradigm**. *The Americas Journal of Plant Science and Biotechnology* 1(1):1-28. 2007

KUMAR, C. A. S.; VARADHARAJAN, R; MUTHUMANI, P.; MEERA, R.; DEVI, P.; KAMESWARI, B. Psychopharmacological studies on the stem of *Saccharum spontaneum*. **International Journal of Pharm Tech Reserch**, Coden (USA): IJPRIF. v.2, n.1, p.319-321, 2010.

LANE, J. H.; EYNON, L. Determination of reducing sugars by Fehling's solution with methylene blue indicator, **NormanRodge, London**, 8p., 1934.

LIMA, E. C. T. de; **Cana-energia como potencial fonte energética: Caracterização dos subprodutos (frações sólida, líquida e gasosa) provenientes da pirólise**: 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, Campinas-SP, 2016.

LIMA, M.L.A.; GARCIA, A.A.F.; OLIVEIRA, K.M.; MATSUOKA, S.; ARIZONO, H.; SOUZA JR., C.L.; SOUZA, A.P. Analysis of genetic similarity detected by AFLP and coefficient of parentage among genotypes of sugarcane (*Saccharum* spp.). *Theor. Appl. Genet.* 104: 30–38, 2002.

LESLE, P.S.S.; de REIS, G. G; REIS, M. das G. F.; de MORAIS, E. J. Crescimento, produção e alocação de matéria seca de ***Eucalyptus camaldulensis*** e ***Eucalyptus pellita*** sob diferentes espaçamentos na região de cerrado, MG. **Scientia forestalis**, n.59, p.77-87, 2001

MACEDO, I. C. Impactos no uso de materiais. In: MACEDO, I. C. (Org.) **A energia da cana-de-açúcar**: Doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade. 2 ed. São Paulo: Berlendis & Vertecchia : UNICA – União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo, 2005. p. 67-90.

MACHADO, E.C. Fisiologia de produção de cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. **Cana-de-açúcar; cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. pp.56-87.

MACHADO, F. de B. P. **Brasil, a doce terra**. 2003 Disponível em: <http://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=26351#nc>. Web. Acesso em: 17 setembro 2017.

MARIN, F. R.; PELLEGRINO, G. Q.; ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J. Agrometeorologia da Cana-de-açúcar. In: MONTEIRO, J.E. **Agrometeorologia dos Cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. v.1 DF, INMET, 2009, pp. 111 – 130.

MARIN, J. J. C. **Efeito do tamanho do abrasivo no desgaste de metais**. 2010. 150 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica de Projeto de Fabricação) –Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MARCHIORI, L. F. S. **Influência da época de plantio e colheita na produtividade da cana-de-açúcar**. 2004. 273 p. Tese (Doutorado em Agronomia) Universidade de São Paulo, ESALQ, Piracicaba-SP, 2004

MARIOTTI, J.A. **Associations among yield and quality components in sugarcane hybrid progênies**. In: XIV International Society of Sugarcane Technologists Congress, Anais New Orleans. p.297-302, 1972.

MARY, S.; NAIR, N. V.; PANKAJ K. C.; SELVI, A.. Analysis of Genetic Diversity Among *Saccharum spontaneum* L. from four Geographical Regions of India, using molecular markers. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v.53, n.6, 1221-1231. DOI 10.1007/s10722-005-2433-z, 2006.

MATSUOKA, S.; BRESSIANI, J. A.; MACCHERONI, W.; FOUTO, I. Bioenergia de cana. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. (Eds.). **Cana-de-açúcar: Bioenergia, Açúcar e Álcool – Tecnologias e Perspectivas**. Viçosa: Editora UFV, 2010. p. 487-517.

MATSUOKA, S.; KENNEDY, A. J.; dos SANTOS, G. D.; TOMAZELA, A. L.; RUBIO, L. C. S. **Energy Cane: Its Concept, Development, Characteristics, and Prospects**. Hindawi Publishing Corporation. Advances in Botany. Volume 2014, Article ID 597275, 13 p. Disponível em: <<https://www.hindawi.com/journals/abot/2014/597275/cta/>> Acesso em: 05 Jun 2018.

MARQUES, T. A., DA SILVA, W. H., Crescimento vegetativo e maturação em três cultivares de cana-de-açúcar. Revista de Biologia e Ciências da Terra, 2008, Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=50080105>>. Acesso em: 16 Jan. 2019

MAY, A.; SILVA, D. D. da; SANTOS, F. C. dos (Ed.). Cultivo do sorgo biomassa para a cogeração de energia elétrica. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013. 65 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 152). Disponível em:<<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/88505/1/doc-152.pdf>>. Acesso em 22 de Jan 2018

MELLO JR., C. A., COSTA, O. R. L.; MACHADO, P. F.; D'ARCE R. D. e MATTOS, W. R. S., **Efeito do tratamento a pressão de vapor no bagaço de cana de açúcar sobre a sua degradação in vitro e digestibilidade in vivo**, Livestock Research for Rural Development vol. 1, nº 1, novembro 1989.

MILLIGAN, S.B.; GRAVOIS, K.A.; BISCHOFF, K.P.; MARTIN, F.A. **Crops effects on broad-sense heritabilities and genetic variances of sugarcane yield components**. Crop Sci. 30:344-349, 1990.

MING, R.; MOORE, P. H.; WU, K-K.; D'HONT, A.; GLASZMANN, J. C.; TEW, T. L.; MIRKOV, T. E.; DA SILVA, J.; JIFON, J.; RAI, M.; SCHNELL, R. J.; BRUMBLY, S. M.; LAKSHMANAN, P.; COMSTOCK, J. C.; PATERSON, A. H. Sugarcane improvement through breeding and biotechnology. In: JANICK, J. (Ed.). **Plant Breeding Reviews**, v.27. New Jersey: John Wiley & Sons Inc, 2006. p. 15-118.

MOORE, P. H. Integration of sucrose accumulation processes across hierarchical scales: towards developing and understanding of the gene-to-crop continuum. **Field Crops Res.** V.92, p.119-135, 2005.

NASCIMENTO, R. A. **A caracterização da lignina de bagaço de cana pré-tratado por explosão a vapor: identificação dos compostos de degradação e reações envolvidas.** 2007. 130 p. Tese (Doutorado em Conversão de Biomassa) - Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2007.

NASSAR, A. M; MOREIRA, M. Evidence on Sugarcane Expansion and Agricultural Land Use Changes in Brazil. In: Institute for International Trade Negotiations - www.iconebrasil.org.br. 2010. Disponível em http://sugarcane.org/resource-library/studies/evidences_on_sugarcane_expansion_and_agricultural_land_use_changes_in_brazil_1206.pdf. Acesso em: 15 dez 2017.

NAIDU, K.M.; SREENIVASAN, T.V. Conservation of sugarcane germplasm. In: Coopersucar International Sugarcane Breeding Workshop. São Paulo: **Copersucar**. p. 33-53. 1987.

NEVES, M. F., TROMBIN, V. G., CONSOLI, M. O mapa Sucroenergético do Brasil. In: de SOUZA, E. L. L.; MACEDO, I. de C.; **Etanol e Bioeletricidade. A cana de açúcar no futuro da matriz energética.** São Paulo: Luc Projetos de comunicação Ltda., 2010. O mapa sucroenergético do Brasil. p 14 - 41

OGATA, H. B. **Caracterização das frações celulose, hemicelulose e lignina de diferentes genótipos de cana-de-açúcar e potencial de uso em biorrefinarias.** 2013. 108 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) Universidade de São Paulo, ESALQ, Piracicaba-SP, 2013.

PAES, L. A. D.; *Seminário Alternativas Energéticas a Partir da Cana-de-Açúcar*, Centro de Tecnologia Canavieira, CTC, Piracicaba, Brasil, 2005.

PERES, S., **Gás do bagaço de cana: um combustível substituto do gás natural.** In XV SNPTEE Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Foz do Iguaçu – Paraná 1999.

PRADO, H. do; **Pedologia Fácil: Aplicações na agricultura.** 2. Ed. Revisada e atualizada. ESALQ/USP, Piracicaba, 2008. 142p.

QUENO, L. M. R.; de SOUZA, A. N.; ÂNGELO, H.; do VALE, A. T.; MARTINS, I. S. Custo de produção das biomassas de eucalipto e capim-elefante para energia.

CERNE, Lavras, v. 17, n. 3, p. 417-426, Sept. 2011. Disponível em:

<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-77602011000300017&lng=en&nrm=iso)

77602011000300017&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 21 Fev. 2019.

SALASSI, N.E.; BREAUX, J.B.; NAQUIN, C.J. Modeling within-season sugar cane growth for optimal harvest system selection. **Agricultural System**, v.73, n.3, p. 261-278, 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/S0308-521X\(01\)00081-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0308-521X(01)00081-6).

SANTOS, F.; QUEIROZ, J.; COLODETTE, J. FERNANDES, S.; GUIMARAES, V.

.Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. Universidade

Federal de Viçosa, Av. Peter Henry Rolfs, s/n, 36570-000 Viçosa – MG, Brasil

Química Nova. 35., 2012. Disponível em:

<[https://www.researchgate.net/publication/266506594_Potencial_da_palha_de_cana-](https://www.researchgate.net/publication/266506594_Potencial_da_palha_de_cana-de-acucar_para_producao_de_etanol?enrichId=rgreq-728c6767cf546C35822a38af63baa3b31-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdIOzI2NjUwNjU5NDtBUzoxNTc5NDgxMDE3OTk5MzdAMTQxNDY2OTE3MTIzNA%3D%3D&el=1_x_3&_esc=publicationCoverPdf)

-de-acucar_para_producao_de_etanol?enrichId=rgreq-

728c6767cf546C35822a38af63baa3b31-

XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdIOzI2NjUwNjU5NDtBUzoxNTc5NDgxMDE3OTk5MzdAMTQxNDY2OTE3MTIzNA%3D%3D&el=1_x_3&_esc=publicationCoverPdf>

Acesso em 15 Ago, 2018.

SCARPARI, M. S. **Um modelo de previsão da maturação da cana-de-açúcar**

visando planejamento otimizado. 2007. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola

Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba,

2007. doi:10.11606/T.11.2007.tde-12062007-101453.

SCARPARI, M.S.; BEAUCLAIR, E.G.F. de. Anatomia e botânica. In:

DINARDOMIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M. de; LANDELL, M.G. de A. (Ed.).

cana-de-açúcar. Campinas: IAC, 2010. 882p

SCHENEIDER, F. (Ed.). **Sugar analysis ICUMSA methods.** Copenhagen. 1979.

265 p.

SENTELHAS, P.C.; PEREIRA, A. R; MARIN F. R.; ANGELOCCI, L. R.; ALFONSI, R.

R.; CARAMORI, P. H.; SWART, S., **BHbrasil - Balanços Hídricos Climatológicos**

de 500 Localidades Brasileiras, Piracicaba: NURMA - Núcleo de Monitoramento

Agroclimático, LCE/ESALQ/USP. 1999.

SILVA, G. M. The use of ethephon to manage sugarcane varieties in different

locations of the central – southern region of Brazil. In: CONGRESS OF I.S.S.C.T.,

20.,1989, São Paulo. Proceedings. p. 623-645.

SILVA, M. de A.; ARANTES, M. T.; RHEIN, A. F. de L.; GAVA, G. J. C. KOLLN, O. T. Potencial produtivo da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento em função de variedades e ciclos. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande , v. 18, n. 3, p. 241-249, Mar. 2014 . Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662014000300001&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 19 Dez. 2018.

SILVA, V. F. N. **Estudos de pré-tratamento e sacarificação enzimática de resíduos agroindustriais como etapas no processo de obtenção de etanol celulósico**. 2009 116p.; Dissertação (Mestrado em Ciências), Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena/SP, 2009.

SILVA, V. L. M. M.; GOMES, W.C.; ALSINA, O.L.S. Utilização do bagaço de cana de açúcar como biomassa adsorvente na adsorção de poluentes orgânicos. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, Campina Grande, v.2, p.27-32, 2007.

Disponível em: <<http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/download/28/64>> Acesso em: 02 Jul., 2018.

SILVA, J. A.; DAMASCENO, B. P. G. de L.; da SILVA, F. L. H.; MADRUGA, M. S.; de SANTANA, D. P. **Aplicação da Metodologia de Planejamento Fatorial e Análise de Superfícies de Resposta para Otimização da Fermentação Alcoólica**. v. 31. Universidade Estadual da Paraíba: Química Nova. 2008.

SILVA, R. N.; MONTEIRO, V. N.; ALCANFOR, J. X.; ASSIS, E. M.; ASQUIEIRI, E. R. Comparação de métodos para a determinação de açúcares redutores e totais em mel. *Ciência Tecnologia Alimentos*, Campinas, v. 23, n. 3, p. 337-341, Dec. 2003 .

Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612003000300007&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 13 Dez. 2018.

SILVA JUNIOR, C.A. ; CARVALHO, L.A. (2010) - **Alterações nos atributos físicos do solo relacionados a diferentes métodos de preparo no plantio da cana-de-açúcar**. *Revista Alcoolbrás*, 129, 1: 42-45.

STUPIELLO, J.P. A **cana-de-açúcar como matéria-prima**. In: PARANHOS, S.B. cana-de-açúcar: Cultivo e utilização. v.2. Campinas: Fundação Cargill, 1987.

STUPIELLO, J. P. Pureza da cana e seu impacto no processamento. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, V. 18, n. 3, 12p., 2000.

STEINLE, L. A. **Fatores que interferem na fermentação alcoólica**. 2013. 58f.

Dissertação (Pós-Graduação em Gestão da Tecnologia da Produção Sucroenergética) - Universidade Federal de São Carlos, 2013.

TAI, P.Y.P.; MILLER, J.D. A core collection for *Saccharum spontaneum* L. from the world collection of sugarcane. **Crop Science Society of America** v. 41, p.879-885, 2001.

TANIMOTO, T. The press method of cane analysis. Hawaiian in Plater's Record, Aila, v. 57, p. 133-150, 1964.

TASSO JÚNIOR, L.C. **Caracterização agrotecnológica de cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) na região centro-norte do Estado de São Paulo**. 2007. 167 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007.

TEIXEIRA, D. B. Cultivares de cana-de-açúcar. In: JUNIOR L.C.T. et al. **Novas tecnologias de produção de cana-de-açúcar**. Sertãozinho: Editora Canaoeste, 2013. s/ n, s/v. p. 33-44.

TEW, T. L., COBILL, R. M. Genetic improvement of sugarcane (*Saccharum spp.*) as an energy crop. In: VERMERRIS, W. (Ed.). **Genetic Improvement of Bioenergy Crops**. New York, Springer, 2008. p. 249–272.

TORQUATO, S. A.; de JESUS K. R. E. Complementaridade Da Matriz Energética Brasileira: O Potencial Da Cana-De-Açúcar E Seus Co-Produtos. In: 10º CONGRESSO SOBRE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E ENERGIA NO MEIO RURAL, 11 a 13 de novembro de 2015, São Paulo. **Agrener Gd**, 2015 s/ p.

UNICA - União das indústrias de cana-de-açúcar – Informações do setor sucroenergético. Disponível em: <<http://www.udop.com.br/>>. Acesso em: 05 Mai 2018.

UDOP - União dos Produtores de Bioenergia - Informações do setor sucroenergético. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/>>. Acesso em: 05 Jun 2018.

ULISSES, H. B. **Respostas morfofisiológicas de genótipos de cana-de-açúcar e cana energia sob diferentes regimes hídricos na fase inicial de crescimento**. 2016. 93 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal de Alagoas, UFAL, Rio Largo, 2016.

VIOLANTE, M. H. S. R. **Potencial de produção de cana-de-açúcar em áreas agrícolas marginais no Brasil**. 2012. 112f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Curso de Pós graduação em Economia, Escola de Economia de São Paulo, São Paulo.

VIGNIS – A ciência da energia. Disponível em:

<http://www.vignis.com.br/quem_somos.html> Acesso em: 24 Outubro 2018.

WANG, L.; JACKSON, P. A.; LU, X.; FAN, Y.; FOREMAN, J. W.; CHEN, X.; DENG, H. Evaluation of Sugarcane x *Saccharum spontaneum* Progeny for Biomass Composition and Yield Components. **Crop Science**. v. 48, n. 3; p. 951, 2008.

WARNER, J.N.; C.O. GRASSL. The 1957 sugarcane expedition to Melanesia. Hawaii. Plant. Rec. v. 55 p. 209–236, 1958.