



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu



PAULA CAROLINE SILVA MOURA

**CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS MORFOLÓGICAS, FISIOLÓGICAS E
TECNOLÓGICAS NA MATURAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Botucatu

2016

PAULA CAROLINE SILVA MOURA

**CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS MORFOLÓGICAS, FISIOLÓGICAS E
TECNOLÓGICAS NA MATURAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp Campus
de Botucatu, para obtenção do título de
Doutor em Agronomia (Agricultura).

Orientador: Prof. Dr. Marcelo de
Almeida Silva

Botucatu

2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

M929c Moura, Paula Caroline Silva, 1987-
Correlações entre variáveis morfológicas, fisiológicas e tecnológicas na maturação da cana-de-açúcar / Paula Caroline Silva Moura. - Botucatu : [s.n.], 2016
80 p. : grafs., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2016
Orientador: Marcelo de Almeida Silva
Inclui bibliografia

1. Cana-de-açúcar - Maturação. 2. Enzimas. 3. Clorofila. 4. Produtividade agrícola. 5. Sacarose - Análise. I. Silva, Marcelo de Almeida. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS MORFOLÓGICAS, FISIOLÓGICAS E TECNOLÓGICAS NA MATURAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR"

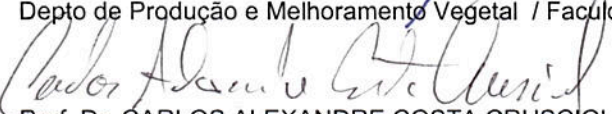
AUTORA: PAULA CAROLINE SILVA MOURA

ORIENTADOR: MARCELO DE ALMEIDA SILVA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. MARCELO DE ALMEIDA SILVA

Depto de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu - UNESP


Prof. Dr. CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL

Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu


Prof. Dr. PAULO ALEXANDRE MONTEIRO DE FIGUEIREDO

Diretoria Geral da FCAT / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas de Dracena


Prof. Dr. ALEXANDRE DAL PAI

Depto de Bioprocessos e Biotecnologia / Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP


Prof. Dr. PAULO ROBERTO DE CAMARGO CASTRO

Departamento de Ciências Biológicas / ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA

Botucatu, 04 de outubro de 2016.

AGRADECIMENTOS

A Deus, companheiro fiel em todos os momentos.

Aos meus amados pais, Sebastião Dair Cardoso de Moura e Izabete Silva Moura, e irmão, Igor Felipe Silva Moura, dedicados, amorosos, fiéis, companheiros. Agradeço ainda aos demais familiares, participantes ativos desta conquista. Sei que conto com o apoio e incentivo de todos.

Ao meu esposo Daniel Philipe Veloso Leal pela paciência, dedicação e amor. Obrigada pelo auxílio em todas as etapas deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Marcelo de Almeida Silva, pelo apoio para desenvolver esse projeto.

Aos fundamentais amigos Deise Paula Silva, Tiara Guimarães, Renata Passos Pincelli, Natalia Rodrigues Ferreira e Iara Aparecida de Oliveira Brito por exalarem amor nas mais diversas formas de convivência. Sou grata a Deus por ter lhes conhecido.

Às queridas Thais Botamede, Amandine Culita, Joyce Reissler e Natalia Ferreira. Fui privilegiada por conhecê-las... pude apreciar a verdadeira sororidade e não tenho dúvidas que sou uma pessoa melhor após nosso convívio.

Aos colegas da Pós- Graduação Tiara Guimarães, Deise Silva, Jose Gerardo Espinoza Veliz, Daniele Scudelleti, Raimundo Monteiro, Fernanda Bortolheiro, Lucas Holanda, Marcela Cristina Brunelli, Breno Kennedy, Alexandrius Barbosa pelo apoio pessoal e profissional e ainda a Carolina Ruv, Matheus Luiz Costa, Ana Laura Belloni, Gabriel Germino, Katerine Andrade e Amanda Mei pelo valioso auxílio nas avaliações do experimento.

Aos indispensáveis funcionários Iara Aparecida de Oliveira Brito, Eliane Gonçalves da Silva, Edna Regina do Prado, Jaqueline de Moura Gonçalves e Dorival Pires de Arruda.

Aos funcionários da biblioteca da FCA, Airton Fioravante, Máisa Coelho França, Joel Di Credde, Nilson de Camargo, Ana Lúcia de Grava Kempinas, Messias Victor Telles de Carvalho, pelo carinho, gentileza e apoio ao longo do curso.

Ao Grupo Raízen- Usina da Barra, pela disponibilização da área agrícola, apoio e contribuição para o desenvolvimento deste estudo e agradecimento especial ao Sebastião Santos Ribeiro, Adauto Aparecido Biega e aos auxiliares de desenvolvimento técnico de campo, Dirceu Olímpio, Cleber Zola, Wardo, Rodrigo Bixiguiha e tantos outros que foram imprescindíveis para a condução do experimento.

Ao Professor Rubens Duarte Coelho pelo auxílio durante as avaliações experimentais.

A PD Instrumentos, especialmente a Tania Castroviejo e Wanderley Cardoso, pela confiança e disponibilização de equipamentos para avaliação do experimento.

A CAPES pela concessão de Bolsa de Estudos.

RESUMO

A maturação da cana-de-açúcar do ponto de vista econômico é determinada pelas análises tecnológicas realizadas a partir do caldo extraído dos colmos e os teores obtidos são comparados aos dados de literatura. Diversas variáveis podem auxiliar para estimar a maturação, no entanto, as atualmente usuais são consideradas empíricas, pouco exatas ou trabalhosas. Nota-se que o processo de maturação da cana-de-açúcar influencia na sua morfologia, fisiologia e metabolismo e a detecção ideal seria realizada pela observação de todos estes fatores, além de que, se acompanhados, poderiam auxiliar na distinção prévia do potencial produtivo de novos genótipos, sem necessariamente cultivá-los até o final do ciclo biológico. O objetivo do trabalho foi detectar a maturação da cana-de-açúcar por meio das alterações morfológicas, fisiológicas, enzimáticas e nutricionais em duas variedades de cana-de-açúcar. O experimento foi realizado na Usina da Barra - Grupo Raízen, as avaliações entre março e julho de 2015 e as variedades utilizadas foram a RB855156 (precoce) e a RB92579 (tardia). Avaliou-se a altura de plantas, diâmetro e número de colmos, comprimento e número de entrenós, número de folhas verdes, comprimento e largura da folha +3, área foliar e índice de área foliar, massa da matéria fresca e seca das folhas e colmos, índice SPAD, conteúdo de clorofilas e carotenoides, NDVI, Brix% caldo, pureza, Pol% cana, ATR, ART, teor de fibras, AR, U% e PBU, atividade da SPS, SuSy e das invertases ácidas e neutras do colmo e das folhas e o teor foliar de N, P, K, Ca, Mg, Fe, S e B. Para acompanhar e discriminar o período de maturação entre as duas variedades, os dados das análises tecnológicas foram submetidos ao teste de "t" (teste de Student, $p < 0,05$) entre as variedades e dentro das épocas de estudos. Para determinar quais variáveis estavam associadas à maturação das variedades, realizou-se a correlação de Pearson entre as variáveis morfológicas, fisiológicas, enzimáticas, nutricionais e as variáveis tecnológicas, para cada variedade. A maturação da variedade RB855156 foi detectada através das variáveis morfológicas largura da folha +3, área foliar, índice de área foliar, número de entrenós, as fisiológicas índice SPAD, teor de clorofila *a*, *b*, *a+b*, carotenóides e a atividade enzimática da SuSy no sentido quebra. A variedade RB92579 até a última avaliação, conforme o Brix e pureza do caldo, não havia iniciado o processo de maturação. No entanto, ao compararmos as variáveis fisiológicas, morfológicas e enzimáticas com os atributos tecnológicos, nota-se que as variáveis que foram selecionadas pela análise de correlação foram as mesmas da variedade RB855156, com exceção do índice SPAD e largura da folha +3. As variáveis número de entrenós, diâmetro do colmo, altura de inserção da folha +1, comprimento da folha +3, índice SPAD e número de folhas verdes podem ser utilizadas para estimar, por meio de regressões múltiplas, as características tecnológicas Brix% caldo, pureza, umidade, ART, PCC e ATR durante a maturação das variedades estudadas.

Palavras chave: *Saccharum* spp., parâmetros tecnológicos, brix, clorofila

ABSTRACT

The ripeness of sugarcane from the economic point of view is determined by the technological analyzes carried out from the broth extracted from the stalks and the obtained contents are compared to the literature data. Several variables may help to estimate ripeness, however, the current ones are considered empirical, not exact or laborious. The sugar cane ripeness process influences its morphology, physiology and metabolism and the ideal detection would be performed by observing all these factors, and if accompanied, could help in the previous distinction of productive potential of new genotypes, without necessarily growing them until the end of the biological cycle. The objective of this work was to detect the ripeness of sugarcane by means of morphological, physiological, enzymatic and nutritional changes in two sugarcane varieties. The experiment was carried out at the Barra Plant - Raízen Group, evaluations between March and July 2015 and the varieties used were RB855156 (early) and RB92579 (late). The height of plants, length, diameter and number of stalks, length and number of internodes, number of green leaves, length and width of leaf +3, leaf area and leaf area index, fresh and dry matter mass of leaves and stems, SPAD index, chlorophyll and carotenoid content, NDVI, Brix% broth, purity, Pol%, ATR, ART, fiber content, AR, U% and PBU, SPS activity, SuSy and acid and leaf, and leaf contents of N, P, K, Ca, Mg, Fe, S and B. To monitor and discriminate the ripeness period between the two varieties, the data of the technological analyzes were submitted to the test of "T" (Student test, $p < 0.05$) between the varieties and within the study periods. In order to determine which variables were associated with the maturation of the varieties, the Pearson correlation was performed between the morphological, physiological, enzymatic, nutritional variables and the technological variables, for each variety. The maturation of the variety RB855156 was detected through the morphological variables leaf width +3, leaf area, leaf area index, number of internodes, physiological index SPAD, chlorophyll *a*, *b*, *a + b* content, carotenoids and enzymatic activity of SuSy in the sense breaks. The variety RB92579 until the last evaluation, according to the Brix and purity of the broth, had not started the maturation process. However, when comparing the physiological, morphological and enzymatic variables with the technological attributes, it is noticed that the variables that were selected by the correlation analysis were the same of the variety RB855156, except for the SPAD index and leaf width +3. As The number of internodes, stalk diameter, leaf insertion height +1, leaf length +3, SPAD index and number of green leaves can be used to estimate, by means of multiple regressions, the technological characteristics Brix% broth, purity, Moisture, ART, PCC and ATR during maturation of the studied varieties.

Keywords: *Saccharum* spp., technological parameters, brix, chlorophyll

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Precipitação total (mm) decendial, médias de temperatura máxima, média e mínima (°C) compreendidas entre março e julho de 2015. Igaraçu do Tietê, SP. 30
- Figura 2. Brix% caldo (A), pureza do caldo (B), umidade da cana (C), ART (D), PCC (E) e ATR (F) das variedades RB92579 e RB855156 ao longo das épocas avaliação. Médias entre variedades e dentro da época seguidas de letras distintas diferem pelo teste t a 5% de probabilidade 40
- Figura 3. Dados de dispersão entre o Brix% caldo estimado e mensurado utilizando a função $\text{Brix\% caldo} = 11,7421 - 0,0226 * \text{Altura} + 1 + 0,0367 * \text{comp} + 3 + 0,4997 * \text{N}^\circ \text{ de entrenós} - 0,2293 * \text{Diâmetro de colmos}$ para as variedades RB855156 e RB92579. 56
- Figura 4. Dados de dispersão entre a Pureza estimada e mensurada utilizando a função $\text{Pureza} = 79,717 - 0,038 \text{ Alt} + 1 + 1,440 \text{ N}^\circ \text{ de entrenós} - 0,928 \text{ Diâmetro de colmos} + 0,200 \text{ SPAD}$ para as variedades RB855156 e RB92579. 56
- Figura 5. Dados de dispersão entre a Umidade estimada e mensurada utilizando a função $\text{\%U Cana} = 83,311 + 0,020 \text{ Altura da folha} + 1 - 0,053 \text{ Comprimento da folha} + 3 - 0,647 \text{ N}^\circ \text{ de entrenós} + 0,256 \text{ Diâmetro de colmo}$ para as variedades RB855156 e RB92579. 57
- Figura 6. Dados de dispersão entre a Fibra estimada e mensurada utilizando a função $\text{\% FIBRA} = 10,644 - 0,008 \text{ Altura da folha} + 1 + 0,008 \text{ Comprimento da folha} + 3 + 0,128 \text{ N}^\circ \text{ de entrenós} - 0,032 \text{ Diâmetro de colmos} - 0,059 \text{ N}^\circ \text{ de folhas verdes}$ para as variedades RB855156 e RB92579. 57
- Figura 7. Dados de dispersão entre o ART estimado e mensurado utilizando a função $\text{ART} = 11,460 - 0,026 \text{ Altura da folha} + 1 + 0,033 \text{ Comprimento da folha} + 3 + 0,572 \text{ N}^\circ \text{ de entrenós} - 0,262 \text{ Diâmetro de colmos}$ para as variedades RB855156 e RB92579. 58
- Figura 8. Dados de dispersão entre o PCC estimado e mensurado utilizando a função $\text{\%PCC} = 9,954 - 0,025 \text{ Altura da folha} + 1 + 0,034 \text{ Comprimento da folha} + 3 + 0,586 \text{ N}^\circ \text{ de entrenós} - 0,276 \text{ Diâmetro de colmos}$ para as variedades RB855156 e RB92579. 58
- Figura 9. Dados de dispersão entre o ATR estimado e mensurado utilizando a função $\text{\%ATR} = 103,804 - 0,234 \text{ Altura da folhan} + 1 + 0,300 \text{ Comprimento da folha} + 3 + 5,180 \text{ N}^\circ \text{ de entrenós} - 2,376 \text{ Diâmetro de colmos}$ para as variedades RB855156 e RB92579. 59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise química do solo na área de plantio.	30
Tabela 2. Coeficiente de correlação (r) entre as variáveis tecnológicas com as análises morfológicas, enzimáticas e fisiológicas da variedade RB855156.....	44
Tabela 3. Coeficiente de correlação (r) entre as variáveis tecnológicas com as análises morfológicas, enzimáticas e fisiológicas da variedade RB92579.....	52
Tabela 4. Equações para estimativa dos valores de Brix% caldo, ATR, PCC, Umidade, ART, teor de Fibra e Pureza a partir de dados fisiológicos e morfológicos para as variedades RB92579 e RB855156.	55

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	Cana-de-açúcar	18
2.2	Maturação em cana-de-açúcar	19
2.3	Metabolismo de sacarose	22
2.4	Fatores que influenciam na maturação da cana-de-açúcar	24
2.5	Métodos de detecção da maturação da cana-de-açúcar	26
2.6	Caracterização morfofisiológica da cana-de-açúcar	28
3	MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1	Condições experimentais	29
3.2	Variáveis morfológicas	30
3.2.1	Altura de colmos	30
3.2.2	Número de colmos	31
3.2.3	Diâmetro de colmos	31
3.2.4	Número de entrenós	31
3.2.5	Comprimento médio do entrenó	31
3.2.6	Número de folhas verdes	31
3.2.7	Comprimento da folha +3	31
3.2.8	Largura da folha +3	31
3.2.9	Área foliar	31
3.2.10	Índice de área foliar	32
3.2.11	Massa da matéria fresca e seca de colmos e folhas	32
3.3	Variáveis fisiológicas	33
3.3.1	Índice SPAD	33
3.3.2	Conteúdo de clorofila e carotenoides	33
3.3.3	Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)	33
3.4	Análises tecnológicas	33
3.5	Análises enzimáticas	34
3.5.1	Análises de síntese de sacarose (SPS e SuSy)	34
3.5.2	Análises de quebra de sacarose (IVA e IVN)	35
3.6	Análises nutricionais	36
3.6.1	Teor de nitrogênio das folhas	37

3.6.2	Teor de fósforo das folhas.....	37
3.6.3	Teor de potássio das folhas	37
3.6.4	Teor de cálcio e magnésio das folhas	37
3.6.5	Teor de boro das folhas	38
3.6.6	Teor de ferro das folhas.....	38
3.6.7	Teor de enxofre das folhas	38
3.7	Análise estatística.....	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1	Caracterização da maturação das variedades RB855156 e RB92579.....	39
4.2	Correlação entre as variáveis fisiológicas, morfológicas e enzimáticas com as variáveis tecnológicas para a variedade RB855156	43
4.3	Correlação entre as variáveis fisiológicas, morfológicas e enzimáticas com as variáveis tecnológicas para a variedade RB92579	51
4.4	Equações para estimativa dos valores de Brix% caldo, ATR, PCC, pureza e teor de fibra.....	52
5	CONCLUSÕES.....	59
6	REFERÊNCIAS	59
	APÊNDICE	71

1 INTRODUÇÃO

O cultivo de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é emergente devido ao impacto econômico, aumento da demanda por açúcar e álcool e para atender aos anseios mundiais de diminuir a utilização de combustíveis fósseis, elevar a produção e popularização de energia sustentável.

O Brasil continua sendo o maior produtor de cana-de-açúcar, com aproximadamente 8.654,2 mil hectares cultivados na safra 2015/2016, dos quais produziram aproximadamente 665.586,2 mil toneladas de colmos e com previsão de produtividade de 76.909 kg ha⁻¹ ao final de 2016. Seu cultivo está concentrado na região Sudeste, responsável por aproximadamente 63% da produção nacional (CONAB, 2016).

A produtividade econômica da cana-de-açúcar é determinada pelo acúmulo de sacarose nos colmos (SOARES, 2013). O acúmulo mais intenso se dá durante o estágio de maturação, é extremamente coordenado, reflete na rentabilidade do cultivo e o conhecimento desta fase pode auxiliar no desenvolvimento de novas tecnologias e formas de manejo.

Segundo Garcia (2008), a alocação de sacarose na cana-de-açúcar durante a maturação é uma resposta combinada da taxa fotossintética nas folhas, do deslocamento dos produtos carbonados, carregamento e descarregamento do floema conforme regulação fonte e dreno, transporte de membrana nos vacúolos e restrições à maturação associadas à duração e tempo, sendo as enzimas envolvidas no metabolismo de carboidratos fundamentais ao processo. Durante a maturação, o consumo de sacarose como fonte de esqueletos de carbono é reduzido, possibilitando o acúmulo nos tecidos outrora formados e bem distribuídos no colmo. São vários os fatores envolvidos no acúmulo de sacarose e, segundo Farias et al. (2007), podem ser ambientais ou intrínsecos à planta, principalmente a redução na temperatura e disponibilidade hídrica.

A estreita coordenação entre os diversos fatores que interferem na maturação da cana-de-açúcar promove alterações metabólicas, fisiológicas, morfológicas e tecnológicas (SILVA; CAPUTO, 2012). Bonnett (2014) e Ferreira Junior et al. (2012) afirmam que neste estágio há paralização ou redução do crescimento e expansão celular, a formação de novos entrenós é reduzida, bem como a formação de novas estruturas caulinares e foliares, há também redução no teor de água dos tecidos maduros. Lim, Kim e Nam (2007) complementam que os pigmentos fotossintetizantes passam a ser progressivamente catabolizados ao invés de sintetizados e, por consequência, as folhas tornam-se amareladas e caem.

Alguns autores discutem que a caracterização das alterações morfofisiológicas ao longo

do ciclo da cana-de-açúcar são importantes ferramentas agronômicas. Para Pincelli e Silva (2012) as técnicas que avaliam as alterações morfofisiológicas são efetivas para diferenciar genótipos tolerantes e sensíveis à baixa disponibilidade hídrica nos solos. Batista (2013) afirma que a identificação da variação morfológica é fundamental para modelar e quantificar as necessidades da planta, para suprir a sua demanda e possibilitar a máxima produtividade. Teruel et al. (1997) complementam que conhecer o desempenho fisiológico da cana-de-açúcar ao longo do seu ciclo auxilia na determinação dos ambientes de produção que uma variedade pode ser inserida. César (2013) concorda com estas citações e ainda afirma que a caracterização morfológica de variedades é uma das ferramentas mais importantes para distinguir variedades oriundas de novos cruzamentos genéticos e se efetivamente correlacionados com as características de interesse, podem auxiliar na correta seleção e encurtar o período de avaliações.

Estas informações provocaram questionamentos sobre qual a amplitude das alterações que ocorrem na cana-de-açúcar durante o período de maturação e se seria possível, através destas alterações, designar este estágio de desenvolvimento. Estas informações poderiam auxiliar na detecção prévia da maturação, na adoção de técnicas de manejo relativas a este período, bem como auxiliar programas de seleção de novas variedades a detectar o desempenho em relação ao acúmulo de sacarose através de suas alterações morfofisiológicas. Diante disso, o objetivou-se com este trabalho detectar a maturação da cana-de-açúcar por meio das alterações morfológicas, fisiológicas, enzimáticas e nutricionais em duas variedades.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar tem origem nas regiões da Indonésia e Nova Guiné, pertence à família Poaceae e ao gênero *Saccharum*. É amplamente cultivada por acumular sacarose, trata-se de uma planta muito vigorosa e com boa adaptação às condições brasileiras. A produtividade estimada para a temporada da safra 2015/16 é de 76.909 kg ha⁻¹ em área plantada de 8.654,2 mil ha (CONAB, 2016).

De modo geral a cana-de-açúcar é caracterizada por quatro estádios de desenvolvimento, conhecidos como: emergência dos brotos; perfilhamento e estabelecimento da cultura (da emergência dos brotos ao final do perfilhamento); período de grande crescimento (do final do perfilhamento ao início do acúmulo de sacarose) e; maturação (intenso acúmulo de sacarose nos colmos) (GASCHO, 1985). Dentre estes, as fases de emergência e perfilhamento são

determinantes para o estabelecimento da cultura e formação de colmos adequados para uma alta produtividade.

Segundo Soares (2013), a produtividade econômica da cana-de-açúcar é determinada pelo acúmulo de sacarose nos colmos, constituído de nós e entrenós em diferentes estádios fisiológicos: entrenós maduros, em maturação e imaturos.

Diferentes condições ambientais e de manejo durante o desenvolvimento da cana-de-açúcar afetam diretamente a maturação, o que torna este processo complexo. Os fatores podem ser intrínsecos ao metabolismo vegetal (genótipo, atividade fotossintética, estrutura dos tecidos, atividade enzimática) ou externos (temperatura, precipitação, fotoperíodo, disponibilidade de água e nutrientes, e aplicação de reguladores vegetais) (LEGENDRE, 1975; LEITE et al., 2009) e o conhecimento sobre estes aspectos auxilia no favorecimento dos fatores que ampliam o potencial produtivo e de qualidade do produto (FARIAS et al., 2007).

Segundo Horii (2004), os diferentes desempenhos relativos à maturação possibilitam agrupar as variedades de cana-de-açúcar em precoces (teor de Pol% cana >13%, ou Brix% caldo $\geq 18^\circ$, no início de maio), médias (maturação em julho) e tardias (maturação em agosto/setembro), propícias para o fornecimento constante de matéria prima para a indústria ao longo do ano em produção escalonada.

2.2 Maturação em cana-de-açúcar

A maturação em cana-de-açúcar pode ser vista como um estágio senescente da cultura ou como um momento metabólico em que a sacarose produzida passa a ser acumulada ao invés de catalisada como fonte de esqueletos de carbono requeridos para o crescimento da planta (LIM, KIM, NAM, 2007).

A cana-de-açúcar, assim como todas as espécies vegetais, utiliza a radiação solar, o carbono atmosférico e a água como fontes para formação de compostos energéticos requeridos durante o crescimento e desenvolvimento em todos os estádios fisiológicos. A conversão destas fontes à energia química metabolizável se dá por meio do processo fotossintético nos plastídios vegetais, que complexa uma série de sistemas reacionais e culmina com a produção de sacarose e amido (esqueletos de carbono).

A produção de açúcar é o centro do metabolismo primário em plantas; todo o carbono fixado é sintetizado em açúcar e seus derivados. Em plantas C4 e CAM, o carbono inicialmente é liberado do cloroplasto como triose fosfato, via ácidos orgânicos intermediários e, então, convertido a sacarose e/ou amido no citosol de células fotossintéticas. Este produto é exportado a órgãos não fotossintetizantes (órgãos heterotróficos ou drenos) e fornece a

energia necessária para o alongamento, diferenciação e manutenção celular, e o excesso é armazenado de forma solúvel no vacúolo, amido nos plastídios ou como óleos em vesículas (PATRICK et al., 2013).

Em cana-de-açúcar, o estoque de fotoassimilados é excepcionalmente elevado, armazenado na forma de sacarose osmoticamente ativa nos tecidos parenquimáticos do caule, constituindo um sistema fonte-dreno complexo, já que não há estoque nos tecidos radiculares e, portanto, há a necessidade de carregamento e translocação floemática, altamente regulado por fatores metabólicos (McCORNICK, 2008; McCORNICK, WATT, CRAMER, 2009).

A demanda celular por carbono e a atividade fotossintética são altamente correlacionadas. A redução nas taxas de assimilação é observada quando a demanda por carboidrato é limitada; reciprocamente, as taxas fotossintéticas aumentam quando o requerimento por carbono é alto (McCORNICK, 2008).

O modelo teórico que explica a conversão da radiação fotossinteticamente ativa em compostos energéticos é provado, inicialmente, pela presença de pigmentos excitáveis nos denominados centros coletores de luz ou complexos antena, localizados nas membranas dos tilacoides cloroplastidiais. Os pigmentos clorofila, carotenóides, xantofilas entre outros, captam a energia luminosa, em sua dualidade como onda e partícula, e transferem elétrons aos centros de reação II e I, que por sua vez hidrolisam a água e reduzem o CO₂ a açúcares. Estes pigmentos são encontrados na planta durante todo o ciclo vegetativo e são responsáveis, além da captação de luz, pela estabilização de algumas proteínas (HÖRTENSTEINER, 2006), pelo controle do fotodinamismo (MATILE, HÖRTENSTEINER, THOMAS, 1999) e pela coloração observada nas folhas.

O teor dos pigmentos fotossintetizantes presentes em plantas é variável durante todo o seu ciclo de vida (KATZ et al., 1978; THOMAS; STODDART, 1980) e são influenciados por fatores genéticos, físicos e principalmente ambientais, a citar a incidência luminosa, temperatura, relações hídricas, disponibilidade de nutrientes, incidência de patógenos, bem como a aplicação biorreguladores vegetais (THOMAS; STODDART, 1980). Estes teores são tradicionalmente mensurados conforme as metodologias por extração com solventes, como acetona 80% (ARNON, 1949) e dimetilformamida (DMF) (MORAN, 1982) e por índice SPAD (YADAVA, 1986), e correlacionados com a atividade fotossintética (SALLA et al., 2007; SILVA, 2008) e estado nutricional da planta, já que a constituição bioquímica destes pigmentos requer a participação de elementos como o nitrogênio, magnésio, enxofre e carbono (ROLLAND et al., 2012). O fato é que, havendo condições propícias à sobrevivência vegetal em um determinado meio, as taxas fotossintéticas se manterão suficientemente

adequadas para produzir a energia química requerida, até que, por regulações metabólicas, iniciam-se os processos de maturação tecidular, e sequencialmente, a senescência, estádios em que o suprimento energético torna-se bastante diferenciado.

Em cana-de-açúcar, a maturação tecidular corresponde ao período de maior estocagem, ou armazenamento de sacarose no colmo. Este aspecto está fisiologicamente relacionado com a estagnação da atividade meristemática, ou seja, a planta já está totalmente desenvolvida e o requerimento energético está associado à manutenção celular (McCORMICK, 2008).

O rendimento de sacarose no colmo da cana-de-açúcar é dependente de dois processos interligados: a produção de biomassa e a concentração de sacarose. O crescimento e a estocagem competem por substrato e energia, requerendo um cuidadoso controle de particionamento dos produtos e intermediários destas rotas. O estoque de elevadas concentrações de sacarose no parênquima deve-se a ação enzimática de síntese e degradação, catalizadas pelas enzimas sacarose fosfato sintase (*SPS*), e sacarose sintase (*SuSy*), que apresentam rotas independentes. A síntese de sacarose ocorre exclusivamente no citosol, enquanto a degradação pode ocorrer no vacúolo, parede celular, apoplasto e citosol. Além da atividade das enzimas citadas, os complexos de invertases ácidas e neutras atuam em reações catabólicas e anabólicas, controle metabólico e realocação ou transporte da sacarose a porções do tecido parenquimático bem como vascular (ROSE; BOTHA, 2000).

O processo de maturação apresenta alterações características nos tecidos vegetais. Segundo Stange (1965), a maturação é notavelmente expressa pelo aumento considerável do tamanho da célula, vacuolação e estabelecimento da parede celular secundária. Este autor afirma que há diferenças na composição da parede celular no que diz respeito ao conteúdo relativo de substâncias pécicas, hemicelulose e celulose no córtex e tecidos vasculares vegetais, o que pode diferenciar o metabolismo e transporte de carboidratos entre as células destes tecidos. Segundo Rodrigues (1995), a maturação em cana-de-açúcar inicia-se entre 13° e 16° mês após plantio em cana-planta e entre o 10° e 11° mês após o corte, em cana soca.

Conforme Lim, Kim e Nam (2007), durante a maturação observa-se um processo de deterioração de células, tecidos e órgãos que resultam na morte ou término do ciclo de uma cultura. Em plantas anuais, a senescência inicia-se nas folhas, onde são observadas alterações na estrutura celular, metabolismo e expressão gênica. Metabolicamente, a assimilação de carbono é substituída pelo catabolismo da clorofila e macromoléculas como proteínas, membranas lipídicas e RNA, o que possibilita a reciclagem de nitrogênio e de nutrientes móveis da folha para outros órgãos. A mudança mais significativa, no entanto, é a deterioração do cloroplasto e de seus constituintes, principalmente os pigmentos

fotossintetizantes, ocasionando a perda da coloração verde característica. Matile, Hörtensteiner e Thomas (1999) afirmam que durante a senescência foliar, é possível detectar produtos intermediários derivados da degradação da clorofila, que indicam a remoção do radical fitol e do átomo central de magnésio do pigmento; isto corresponde à perda da emissividade do espectro de luz verde dos tecidos.

Durante a maturação, a senescência natural das folhas inicia-se a partir do ápice da folha e segue rumo à base; em condições ambientais estressantes, essa ordem pode não ser representativa e a degradação dos tecidos pode ocorrer de forma localizada (LIM, KIM, NAM, 2007). De qualquer forma, tanto observações empíricas quanto aquelas descritas fisiológica ou bioquimicamente demonstram que durante o período vegetativo, a cana-de-açúcar apresenta determinado aparato morfológico e nos estádios finais do seu ciclo (maturação e senescência), estas estruturas são gradativamente modificadas, denotando características típicas.

2.3 Metabolismo de sacarose

Segundo Huber e Huber (1996), Murad (2013), Ribeiro et al. (2013) e Weber e Roistch (2000), a síntese de sacarose ocorre no citosol das células do mesofilo a partir de trioses fosfato, oriundos do Ciclo de Calvin, pela rota frutose-1,6-bifosfato e glicose-1-fosfato. Estas trioses fosfato são exportadas para o cloroplasto, onde são convertidas em frutose-1,6-bifosfato e depois hidrolisadas para serem convertidas em frutose-6-fosfato pela enzima frutose-1,6-bifosfatase. A frutose-6-fosfato é então convertida para glicose-6-fosfato, logo após a glicose-1-fosfato e posteriormente em UDP-glicose por intermédio de uma UDP-glicose fosforilase. Esse é o ponto principal para que inicie formação de sacarose (RIBEIRO, 2012).

A síntese de sacarose-6-fosfato ocorre após uma reação entre a UDP glicose com a frutose-6-fosfato catalisada pela sacarose fosfato sintase (SPS). Em seguida, a sacarose-6-fosfato fosfatase remove o fosfato da sacarose-6-fosfato por meio de uma reação irreversível produzindo a sacarose e P_i , que é reciclado e retorna ao cloroplasto através de um translocador específico para o contínuo suprimento de triose-fosfato para o citosol (LUNN, ApREES, 1990; MURAD, 2013).

A exportação da sacarose para o floema pode ocorrer de forma simplástica (através da membrana plasmática) ou apoplástica (via transportadores de sacarose) (LALONDE et al., 2003) e é fundamental para que não haja inibição alostérica da fotossíntese, por excesso de produtos (SERRATO et al., 2009; STRAND et al., 2000,) e pressão de turgor excessiva

(MOORE; COSGROVE, 1991). Van Bel (2003) explica que o transporte via simplasto ocorre devido a diferença de concentração de sacarose entre o mesofilo e o floema enquanto pela via apoplástica, através de transportadores de sacarose- H^+ do tipo simporte. Estes transportadores estão localizados na membrana celular e são ativados pela diferença de pH criada entre o interior da célula e o apoplasto regulado por bombas de prótons ativas (SAUER, 2007; WIND et al., 2010).

Segundo Soares (2013), o floema transloca a sacarose até os tecidos dreno e descarrega de forma simplástica ou apoplástica. Moore (1995) complementa que a forma de descarregamento depende do estágio de desenvolvimento e estrutura do tecido dreno.

De modo geral, a sacarose é sintetizada pelas enzimas sacarose fosfato sintase (SPS) e sacarose sintase (SuSy) e clivada pela ação das invertases e SuSy em um ciclo contínuo (SOARES, 2013).

Soares (2013) afirma que as invertases são divididas em três isoformas, de acordo com a localização subcelular, solubilidade e pH ótimo (BOARETTO, 2012; GROF, CAMPBELL, 2001; STRUM, CHRISPEELS, 1990) de tal forma que a invertase ácida está ligada à parede celular (IVAp) em pH ótimo 4,0-4,5, é insolúvel e glicosilada; a invertase ácida vacuolar (IVAv) está sob pH ótimo 4,0-4,5, é solúvel e glicosilada, e a invertase citossólica ou invertase neutra (IVN) atua sob pH ótimo 7,0-7,8, é solúvel e não-glicosilada.

As invertases que atuam nos tecidos vegetais compreendem uma família que catalisam a quebra da sacarose em uma reação irreversível a glicose e frutose (BOARETTO, 2012). Segundo este mesmo autor, a atividade destas enzimas é normalmente alta em tecidos que estão em rápido crescimento e variedades de cana-de-açúcar que apresentam altos níveis da atividade das invertases ácidas nos entrenós maduros não acumulam altos teores de sacarose.

Datir e Joshi (2016) explicam que as invertases ácidas ligadas à parede celular desempenham papel fundamental no processo de descarregamento do floema nos tecidos drenos. No espaço apoplástico, estas enzimas asseguram a criação de um gradiente de concentração entre a fonte e o dreno, justamente pela clivagem da sacarose em seus monômeros mais simples, glicose e frutose (WINTER; HUBER, 2000). Em muitas espécies, está associada a outros processos como a osmorregulação, crescimento de tecidos, percepção do ambiente externo e carregamento e descarregamento da sacarose no apoplasto (ALBERTSON et al., 2001).

Vattuone et al. (1981) esclarecem que as invertases ácida e neutra apresentam propriedades similares e por esta razão é difícil caracterizá-las isoladamente. Outra dificuldade citada pelos autores é que a ligação iônica com a parede celular, cuja

desassociação é bastante complicada.

Outra isoforma da invertase é conhecida como invertase neutra (IVN) e está localizada no citoplasma e atua em pH ótimo 7,0 (SOARES, 2013). Alguns autores apontam que há um aumento da atividade da IVN conforme a maturação dos entrenós (BOSCH, GROF, BOTHA, 2004), enquanto outros relatam que há diminuição (VILELLA, 2011; MESCHÉDE, 2009) sugerindo que outros fatores, além dos conhecidos atualmente, podem interferir na atividade desta enzima.

A hidrólise da sacarose é processada constantemente pela invertase neutra, que exerce controle sobre a acumulação da sacarose e suas utilizações. Sabe-se que o principal papel desta enzima é a regulação da concentração de sacarose no tecido do colmo, sendo uma das responsáveis pela regulação do movimento de sacarose dos tecidos vasculares até o parênquima de armazenamento dos entrenós maduros (BOARETTO, 2012).

Outra enzima que catalisa a reação reversível de clivagem da sacarose é a sacarose sintase (SuSy). Em cana-de-açúcar, a atividade da SuSy é maior ao redor dos feixes vasculares e células companheiras dos entrenós maduros do que nos entrenós imaturos (GROF; CAMPBELL, 2001). Segundo Buczynski et al. (1993) e Schafer et al. (2004), a SuSy encontra-se ativa em todos os tecidos da cana que tem pH ótimo entre 7,0 e 7,5. Em diversas espécies a sua atividade está associada ao crescimento e força do dreno e ao floema (SCHAFFER et al. 2004, SUNG et al. 1989).

Koch (2000) afirma que a SuSy pode estar envolvida na biossíntese de celulose e calose por estar ligada a membrana plasmática. A alta atividade foi observada nos tecidos dreno de cana, como nas folhas em formação e nos entrenós do colmo.

Buczynski et al. (1993) explicam que a atividade da SuSy em cana-de-açúcar está associada com a formação de UDP-glicose a partir da sacarose. Este é um precursor da parede celular e por isto está correlacionada com o alongamento do entrenó. Diferentemente das invertases e da SuSy, a SPS atua exclusivamente em direção da síntese de sacarose (HAIGLER et al., 2001). A SPS catalisa a reação reversível entre UDP-glicose e frutose 6-fosfato a sacarose 6-fosfato + UDP e H^+ (BOARETTO, 2012). Este autor explica que a SPS atua concomitantemente com a enzima sacarose fosfato fosfatase que remove instantaneamente o fosfato da molécula de sacarose 6-P, tornando a reação da SPS irreversível.

2.4 Fatores que influenciam na maturação da cana-de-açúcar

A fase de maturação é influenciada por uma série de fatores, incluindo a umidade

atmosférica e do solo, a disponibilidade de nutrientes, incidência luminosa, temperatura, variedade e idade do cultivo, complexidade anatômica dos tecidos de estoque, atividade fotossintética, demanda de fotossimilados por regiões drenos e carregamento/descarregamento do floema.

Alguns autores (BERTON, 2014; CAPUTO, 2006; SOUZA et al., 2014) afirmam que quando as condições ambientais se tornam desfavoráveis ao desenvolvimento vegetativo, isto é, redução na temperatura e disponibilidade hídrica, a planta começa a acumular sacarose. Tal condição está associada a diminuição da atividade enzimática dos órgãos dreno que requerem maior suprimento de fotossimilados. Desta maneira, práticas que estimulam a produção de órgãos vegetativos como: adubações nitrogenadas de cobertura, aplicação de vinhaça, rica em matéria orgânica, água, nitrogênio e potássio, importantes constituintes de moléculas teciduais e energéticas, realizadas principalmente ao final do ciclo, dificultam ou retardam o processo de maturação (SEGATO et al., 2006).

O ciclo da cana-de-açúcar é influenciado pelas variações climáticas durante todo o ano. Crusciol et al. (2010) afirmam que para a alta produção de sacarose, a planta requer temperatura e umidade adequadas para permitir o máximo crescimento na fase vegetativa, seguida de restrição hídrica ou térmica para favorecer o acúmulo da sacarose no colmo.

Quanto à radiação solar e temperatura, a cana-de-açúcar caracteriza-se por ser extremamente eficiente na utilização da radiação solar para a fotossíntese, sendo a faixa ótima de temperatura do ar para seu desenvolvimento entre 25 a 34°C (CARDOZO, 2012). De acordo com Galdiano (2008), nos períodos em que predominam temperaturas elevadas, precipitação e radiação solar adequadas observam-se o crescimento vegetativo e, conseqüentemente, a formação de folhas, bainhas, colmos, raízes e rizomas, logo há menor armazenamento de sacarose nesta situação.

A temperatura é talvez o fator mais efetivo para explicar o acúmulo de sacarose na cana-de-açúcar (CRUSCIOL et al., 2010). Segundo estes autores, o frio retarda o desenvolvimento do colmo e eleva o teor de sacarose. De fato, segundo Alexander (1973), a maturação depende da redução da temperatura do ar que diminui a taxa de desenvolvimento vegetativo, sem, no entanto, significativamente afetar o processo de fotossíntese.

Além das condições térmicas, a deficiência hídrica do solo constitui um dos estresses mais limitantes da produtividade vegetal (PIMENTEL, 2004). A deficiência hídrica tem impacto na produtividade agrícola dependendo da fase fenológica em que ocorre e da variedade (INMAN-BAMBER, SMITH, 2005; MACHADO et al., 2009; SALES et al., 2012;). A emergência da plântula e o período compreendido entre a pré e pós-floração são as fases

fenológicas de maior suscetibilidade à seca em termos de produção agrícola de grãos (PIMENTEL, 2004). Contudo, nos cultivos em que os órgãos de interesse econômico não são os frutos ou sementes, como no caso da cana-de-açúcar (colmo), os efeitos da deficiência hídrica são prejudiciais quando a mesma ocorre na fase inicial de estabelecimento das plantas (MACHADO, 2009), bem como na de intenso crescimento (ROBERTSON et al., 1999). Segundo Ghannoum (2009), Lopes et al. (2011), Machado et al. (2009) e Ribeiro et al. (2013) quando há redução na disponibilidade de água no solo, a cana-de-açúcar apresenta alterações morfofisiológicas características, como enrolamento e alteração do ângulo da folha, redução da área foliar, da transpiração, da condutância estomática, da fotossíntese (comprometimento das etapas fotoquímica e bioquímica), da condutividade hidráulica das raízes, modificação da atividade de enzimas do metabolismo do carbono e mudanças nos teores de antioxidantes

Crusciol et al. (2010) ainda explicam que os nutrientes minerais também influenciam na maturação da cana-de-açúcar conforme a época em que estão disponíveis às plantas. O excesso de nitrogênio estimula o crescimento vegetativo da planta e pode retardar a maturação. A aplicação de vinhaça pode interferir no processo de acúmulo de sacarose, por ser composta de água, matéria orgânica, nitrogênio e, principalmente, potássio.

Segundo Cruz (2012), o potássio possui importante ação na translocação de sacarose, seja no transporte via floema, célula a célula em direção ao floema ou no sentido de armazenamento. Esse elemento é importante para a manutenção do turgor celular, participando do processo de abertura estomática e consequentemente na absorção de CO₂. A deficiência de K⁺ leva ao fechamento dos estômatos, restrição fotossintética e menor acúmulo de matéria seca e sacarose. O boro, em se tratando de cana-de-açúcar, não pode deixar de ser lembrado em função da sua importância na translocação da sacarose. Apesar da existência de inúmeras ações fisiológicas do boro na planta, esta é a mais aceita, portanto não deve ocorrer carência.

2.5 Métodos de detecção da maturação da cana-de-açúcar

A maturação da cana-de-açúcar é uma etapa importante para o ciclo produtivo e é determinante para a rendimento e qualidade do produto e, portanto, deve ser avaliada frequentemente. Lazarini (s.d.) explica que convencionalmente a maturação é determinada pela aparência do canavial, idade e através do refratômetro de campo.

O período de maturação indicado pela aparência do canavial baseia-se em características externas da planta, como folhas do ápice de coloração verde amareladas, menos eretas que durante o pleno período vegetativo, as folhas do terço médio basal secam e são facilmente

removíveis, os colmos frequentemente estão descobertos e há indícios de emissão da inflorescência. Uma das desvantagens deste método é que nem todas as variedades florescem e fatores ambientais podem eventualmente, provocar alterações morfológicas nas plantas e estas apresentarem as mesmas características descritas como indicativas de maturação (LAZARINI, s.d.).

Outra forma usual de determinar a maturação é pelo acompanhamento da idade do canavial, conhecendo as diferentes épocas de maturação das variedades classificadas como precoces, médias e tardias, bem como o histórico do talhão e a época de colheita do ano anterior. Este método, assim como o descrito anteriormente, pode ser falho caso os fatores ambientais induzam a desempenhos diferentes do esperado (LAZARINI, s.d.).

O método mais confiável é através do uso do refratômetro de campo que fornece a leitura direta do grau Brix (%) ou sólidos solúveis no caldo. Este método é simples, de baixo custo e o operador relaciona a maturação com o teor de Brix, diretamente correlacionado o teor de sacarose. Neste caso, são feitas amostragens ao acaso no talhão e se a média for igual ou superior a 18° Brix, considera-se o talhão como maduro (FERNANDES, 2003). Utilizando ainda o refratômetro de campo, determina-se a maturação através do cálculo do índice de maturação (IM) ao se verificar o Brix do ponteiro e da base do colmo. Stupiello (1987) estabeleceu a relação entre o IM e os estádios de maturação: $IM < 0,60$ considera a cana em estágio vegetativo; $< 0,85$ em maturação; $> 0,90$ cana madura; $> 1,00$ cana em declínio de maturação quando pode haver inversão de sacarose. Segundo Lazarini (s.d.), as unidades industriais mais utilizadas para indicar a maturação é o acompanhamento do Brix, teor de sacarose (Pol), açúcares totais recuperáveis (ATR), açúcares redutores (AR) e o cálculo da pureza do caldo. Segundo Lima (2009), para considerar a maturação da cana-de-açúcar adequada para o corte, o Brix e a pureza do caldo devem ser superiores a 18 e 80%, respectivamente. Recomenda-se que a Pol% cana (PCC) e a umidade da cana sejam superiores a 14,4 e 71%, enquanto os açúcares totais recuperáveis (kg t^{-1}) (ATR) sejam o quão alto possível, refletindo a qualidade do produto e preço a ser pago ao produtor.

Fernandes (2003) define que o Brix expressa a porcentagem de sólidos solúveis contidos no caldo da cana-de-açúcar, a Pol do caldo representa a porcentagem de sacarose em uma solução de açúcarada. A partir da Pol do caldo é possível determinar o Pol da cana incluindo no cálculo o teor de fibra da cana (%). Esta por sua vez trata-se da matéria insolúvel em água e a pureza representa a porcentagem de sacarose contida nos sólidos solúveis do caldo. Os açúcares totais recuperáveis (ATR) representam a quantidade de açúcares redutores totais recuperados da cana até o xarope.

Diante do exposto é possível afirmar que diversas variáveis podem auxiliar para estimar a maturação da cana-de-açúcar, no entanto, as que são atualmente usuais são consideradas empíricas ou pouco exatas, excetuando-se as variáveis tecnológicas. Nota-se que o processo de maturação da cana-de-açúcar influencia e modifica a sua morfologia, fisiologia e metabolismo (PINCELLI; SILVA, 2012; SILVA; CAPUTO, 2012) e a detecção ideal seria realizada pela observação de todos estes fatores. Poucos são os trabalhos com este enfoque e as ferramentas ainda são escassas na literatura, tornando esta uma ótima alternativa para pesquisas que visem conhecer essas relações e melhorar o manejo da maturação em cana-de-açúcar.

2.6 Caracterização morfofisiológica da cana-de-açúcar

A caracterização dos atributos morfológicos e fisiológicos de variedades de cana-de-açúcar é uma das ferramentas que permite distinguir diferentes genótipos e requer um estudo minucioso dos aspectos organográficos da cultura (CESAR, 2013). Estes estudos possibilitam a individualização e diferenciação de variedades (LANDELL; BRESSIANI, 2010).

Segundo Pedrozo et al. (2008), na fase inicial de melhoramento da cana-de-açúcar é comum a prática de seleção indireta para o caráter produção de colmos via número de colmos presentes na touceira, altura e diâmetro de colmos. Esta seleção prévia poderá ser incrementada se outros componentes de produção forem melhor correlacionados com a produção dos genótipos das futuras gerações clonais. Estes autores ainda esclarecem que são necessários novos estudos para conhecer quais outros caracteres, em diferentes fases de desenvolvimento, se correlacionam com o potencial produtivo.

Abreu et al. (2007) afirmam que as características morfológicas podem ser utilizadas para avaliar o desenvolvimento e desempenho produtivo de uma cultura, bem como distinguir os melhores ambientes de produção. Estes autores afirmam que para a cana-de-açúcar os caracteres avaliados e melhor correlacionados com a produção são a altura do colmo e da inserção da folha. A altura do colmo tem correlação positiva com o peso do mesmo, no entanto, correlação inversa com o diâmetro. A altura da folha é diretamente correlacionada com a produção de massa verde e redução de folhas mortas.

Segundo Landell e Bresiani (2010), a caracterização morfológica é a forma mais contextual de descrever uma cultivar e os principais descritores abrangem as gemas, nó e entrenó, copa foliar, caracterização das folhas, bainhas e palmito. César (2013) explica que a caracterização de uma variedade deve contemplar a sua resposta a diferentes locais e condições edafoclimáticas, sendo de fundamental relevância a biometria e caracterização

quanto a estabilidade fenotípica.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Condições experimentais

O experimento foi instalado na Usina da Barra - Grupo Raízen, localizada em área agrícola do município de Igarapu do Tietê, São Paulo, situada nas coordenadas geográficas latitude de 22° 33' 50'' S e longitude 48° 30' 52'' W, e altitude de 522 m.

A área apresenta ambiente de produção A, o solo é classificado como Latossolo Vermelho Férrico Eutrófico (EMBRAPA, 1999) com topografia plana. O resultado da análise química do solo é apresentado na Tabela 1.

O clima predominante da região é o Aw, segundo a classificação de Köppen, com período seco definido, temperatura média anual de 21,6 °C, umidade relativa média de 70%, com extremos de 77% em fevereiro e 59% em agosto e média pluvial total de 1.344 mm. Os elementos meteorológicos precipitação, temperatura máxima, mínima e média foram monitorados durante as épocas de avaliação (março a julho de 2015), Figura 1, coletados na estação meteorológica da Fazenda Bosque, Igarapu do Tietê, SP.

A temperatura média ao longo deste período foi de 21,0 °C com variação mínima de 14,0 e máxima de 25,6°C. Com relação às temperaturas, a máxima foi de 31,9 °C e ocorreu no mês de março e a mínima foi de 10,7 °C e ocorreu no mês de junho. De forma geral observou-se uma leve redução da temperatura no decorrer do experimento, o que era esperado uma vez que as colheitas iniciaram no final do verão e terminaram no início do inverno.

As variedades utilizadas foram a RB855156 e RB92579, caracterizadas quanto ao ciclo de maturação como precoce e média-tardia, respectivamente, e estas foram escolhidas por serem, dentre as variedades mais plantadas na região, as que mais se adaptavam ao tipo de solo da área experimental.

A área experimental foi instalada em maio de 2014 e conduzida até julho de 2015. O plantio foi realizado com toletes pré-selecionados com gemas viáveis a profundidade de 0,25 m em linhas duplas (modelo "abacaxi" ou "W") com espaçamento de 0,60 m x 1,5 m entre as linhas de plantio. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições e cada parcela constituída por 5 linhas duplas, com 10 m de comprimento, totalizando 90 m² cada.

Tabela 1. Análise química do solo na área de plantio.

Prof. ⁽¹⁾	pH	P	S	Si	MO ⁽²⁾	K	Ca	Mg	H+ Al	Na	SB ⁽³⁾	CTC ⁽⁴⁾	V ⁽⁵⁾
cm		mg dm ⁻³			g dm ⁻³				mmol dm ⁻³				%
0 a 25	4,6	27	0	0	27	2,13	23,72	14,41	31	0	40,26	71	56
25 a 50	4,7	23	0	0	23	1,51	20,83	12,84	30	0	35,18	65	54

(1) Prof.: profundidade.(2) MO: Matéria orgânica. (3) SB: somas das bases.(4) CTC: capacidade de troca catiônica.(5) V: saturação de bases (RAIJ; QUAGGIO, 1983).

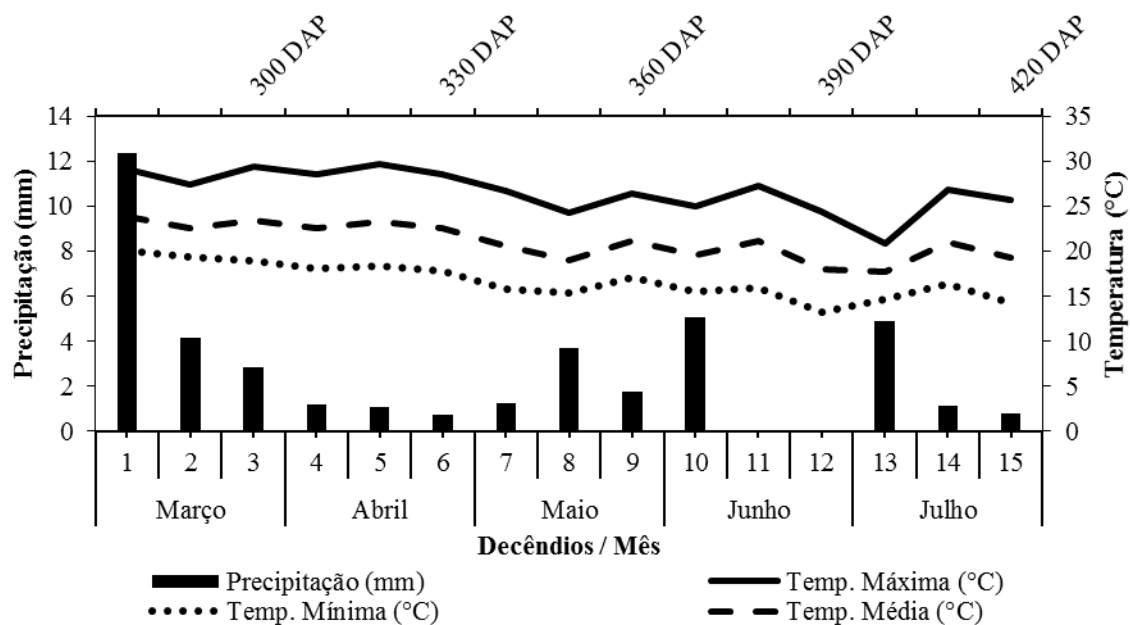


Figura 1. Precipitação total (mm) decendial, médias de temperatura máxima, média e mínima (°C) compreendido entre março e julho de 2015. Igarau do Tietê, SP.

As avaliações para obtenção dos dados ocorreram a partir dos 300 DAP (março de 2015), com intervalos de 30 dias, até completar 420 DAP. Aos 300 DAP as plantas ainda estavam em desenvolvimento e com elevado vigor vegetativo, precedente a maturação.

3.2 Variáveis morfológicas

Para cada época de avaliação foi utilizada uma linha central de cada parcela onde se retirou um metro linear de colmos.

3.2.1 Altura de colmos

A altura foi determinada por meio de medição, com trena graduada em metros, da distância entre o solo até a região auricular da folha +1, de acordo com a numeração sugerida por Kuijper (Van DILLEWIJN, 1952).

3.2.2 Número de colmos

A contagem do número de colmos foi realizada de maneira direta, em um metro linear, na linha central e no centro da parcela, em cada uma das repetições, no campo.

3.2.3 Diâmetro de colmos

O diâmetro de colmos (mm) foi medido com paquímetro digital (no campo) em todos os entrenós desenvolvidos acima do solo.

3.2.4 Número de entrenós

Os valores de número de entrenós foram obtidos por meio da contagem de entrenós do colmo durante a biometria do experimento.

3.2.5 Comprimento médio do entrenó

O comprimento médio (cm) do entrenó foi calculado através da divisão do comprimento do colmo pelo número de entrenós.

3.2.6 Número de folhas verdes

A contagem foi efetuada de maneira direta nos colmos utilizados para a contagem do número de perfilhos no metro linear.

3.2.7 Comprimento da folha +3

As folhas +3 dos colmos selecionados para a avaliação biométrica foram utilizadas para esta avaliação. Mediu-se com o auxílio de uma trena ao comprimento da folha, desde a ponta até a bainha da folha.

3.2.8 Largura da folha +3

As folhas +3 dos colmos selecionados para a avaliação biométrica foram utilizadas para esta avaliação. Mediu-se com o auxílio de uma régua graduada a largura do centro médio da folha.

3.2.9 Área foliar

Para avaliação da área foliar (AF) foi utilizada a equação (1) descrita por Hermann e Câmara (1999):

$$AF(\text{cm}^2) = C \cdot L \cdot 0,75 \cdot (N+2) \quad (1)$$

Em que:

C é o comprimento da folha +3

L é a largura da folha +3

0,75 é o fator de correção para área foliar da cultura

N é o número de folhas abertas com pelo menos 20% de área verde.

Os resultados referentes a área foliar foram convertidos de centímetros quadrado (cm²) para metro quadrado (m²).

3.2.10 Índice de área foliar

Calculou-se a relação da área foliar total da planta (m²) por unidade de terreno (m²) disponível para a planta (Equação 2) (WATSON, 1947):

$$IAF = \frac{AF}{S} \quad (2)$$

Em que:

AF = área foliar total, m²

S = área da superfície do solo, m²

3.2.11 Massa da matéria fresca e seca de colmos e folhas

Após as mensurações realizadas a campo, separou-se as folhas e o colmo de cinco plantas de cada repetição das parcelas. Estas foram pesadas, acondicionadas em sacos de papel identificados e transportadas para o Laboratório de Ecofisiologia Aplicada à Agricultura do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/UNESP) em Botucatu/SP. Lá permaneceram em estufa de circulação forçada de ar a 70°C, por 72 horas. Em seguida, a massa da matéria seca de colmos (MMSF) e massa de matéria seca de folhas (MMSF) foi determinada em balança de precisão, com resultados expressos em grama por metro quadrado.

3.3 Variáveis fisiológicas

3.3.1 Índice SPAD

A estimativa do conteúdo de clorofila foi obtida por meio do índice SPAD, empregando o clorofilômetro portátil SPAD-502 (Konica Minolta Corporation, Osaka, Japão). Esse índice foi obtido da média de três leituras realizadas em três locais da folha +1 Kuijper (Van DILLEWIJN, 1952).

3.3.2 Conteúdo de clorofila e carotenoides

Para obtenção do conteúdo de clorofila ($CC\ a+b$, a e b , $\mu\text{g cm}^{-2}$) e carotenoides ($\mu\text{g cm}^{-2}$), dois discos foliares ($1,1\text{ cm}^2$ cada) foram amostrados da lâmina foliar por meio de um furador, entre a borda e a nervura central da folha. Os conteúdos de clorofilas e de carotenoides foram determinados segundo a metodologia de Lichtenthaler (1987), e o método se baseia na utilização de 1 mL do extrato de clorofila obtido à partir da extração por ácido dimetilformamida (DMF). A solução foi mantida protegida da luz durante 24 h para a completa extração. Logo após realizou-se a leitura de absorbância em espectrofotômetro (DU®720, Beckman Coulter, Inc., Fullerton, CA, EUA) nos comprimentos de onda de 480, 647 e 664 nm; a leitura foi realizada em 1mL de extrato de clorofila diluído em 1mL de água deionizada.

3.3.3 Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)

A reflectância das folhas foi obtida utilizando um espectralímetro portátil (PolyPen PSI ©, Brno, Drasov, República Tcheca) com resolução espectral de 8 nm nos comprimentos de onda compreendidos entre 340 e 790 nm. As leituras foram feitas entre a borda e a nervura central das folhas +1 Kuijper (DILLEWIJN, 1952) dos colmos selecionados para as análises morfológicas, imediatamente após o corte das mesmas. Os dados obtidos foram calculados no *software* SpectraPen (PSI ©, Brno, Drasov, República Tcheca).

3.4 Análises tecnológicas

As plantas colhidas para as avaliações morfológicas foram, após a biometria, identificadas e encaminhadas ao Laboratório de Tecnologia da Usina Raízen (Unidade Barra Bonita) para análise da qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. Estas análises foram realizadas conforme o Sistema de Pagamento de Cana pelo Teor de Sacarose (SPCTS), descrito por Fernandes (2003). Os índices associados ao acúmulo de sacarose determinados neste trabalho foram

peso do bolo úmido (PBU), Brix% caldo, pureza do caldo (determinada pela relação Pol% caldo Brix% caldo⁻¹ x 100), Pol% cana (PCC), açúcar total recuperável (ATR), açúcares redutores totais (ART), teor de fibras, açúcares redutores (AR) e umidade (U%).

3.5 Análises enzimáticas

Para a avaliação da atividade das enzimas envolvidas no metabolismo de carboidratos (sacarose fosfato sintase –SPS; sacarose sintase - SuSy; invertase ácida - IVA; invertase neutra - IVN) coletou-se a folha +1 e o entrenó 1 e 2 conforme a numeração sugerida por Kuijper (Van DILLEWIJN, 1952) de cinco plantas de cada parcela, escolhidas de forma aleatória a cada avaliação do experimento (300, 330, 360, 390 e 420 DAP). As amostras compostas de folhas e colmos foram imediatamente congeladas com nitrogênio líquido, repostas frequentemente para assegurar a solidificação enquanto em campo e posteriormente armazenadas em ultrafreezer até o momento das análises.

Os procedimentos realizados para as extrações das enzimas nos colmos e nas folhas foram iguais, seguindo como base o método de Grof et al. (2007), porém com modificações descritas a seguir: 500 mg de amostras frescas foram maceradas no almofariz, com 1% de polivinilpolipirrolidona (PVPP) e 3,5 mL de tampão Hepes 50 mM com pH 7,5, contendo MgCl₂ 10 mM e EDTA 1mM. Em seguida o extrato cru foi centrifugado a uma rotação de 14000 rpm, a 4 °C por 20 minutos. Após a centrifugação foram coletadas 2,5 mL do sobrenadante e dessalinizado em coluna Sephadex G25 (PD-10, GE), previamente saturada com o tampão de extração. O extrato coletado da coluna após eluição com o mesmo tampão da extração foi utilizado para determinação dos teores de proteínas e análise enzimática.

As determinações das proteínas totais das folhas e colmos foram feitas pelo método de Bradford (1976), utilizando-se reagente preparado (Sigma-Aldrich, Brasil). Em tubo de ensaio foram adicionados 10 µL do extrato, 90 µL de água e 3 mL do reagente preparado diluído na proporção 1:4 (reagente:água). Fez-se a leitura em espectrofotômetro no comprimento de onda 595 nm. A concentração de proteína total foi calculada a partir da curva padrão obtida com leituras de solução contendo 5, 10, 20, 40 e 60 µg de albumina sérica bovina (BSA). O espectrofotômetro foi zerado com o branco contendo água no lugar da amostra.

Os procedimentos utilizados para as determinações das atividades enzimáticas da SPS, SuSy, IVN e IVA descritas a seguir foram iguais para as amostras de folhas e colmos.

3.5.1 Análises de síntese de sacarose (SPS e SuSy)

A reação da enzima da sacarose fosfato sintase (SPS) ocorreu em tampão Tris-HCl 200

mM com pH 7,5 contendo 10 mM de MgCl_2 , 2 mM de EDTA, 8 mM de frutose-6-fosfato (Fru-6-p), 40 mM de glicose-6-fosfato (Glu-6-p) e 50 mM de uridina 5'-difosfoglicose (UDP-glicose). A reação enzimática foi montada em microtubos contendo extrato e tampão na proporção 1:1. O volume de extrato utilizado na reação variou para cada amostra, para garantir o teor de proteína total utilizado na reação de 18 ± 2 μg . A reação foi incubada a 37 °C por 0, 30, 60 e 90 minutos. Em cada tempo foi retirada uma alíquota de 50 μL do meio de reação e colocada em tubos de ensaio com rosca e imediatamente levado à banho-maria a 100 °C por 3 minutos para interromper a reação enzimática.

Para a reação da enzima sacarose sintase (SuSy) utilizou-se tampão Tris-HCl 200 mM com pH 7,5 contendo 15 mM de MgCl_2 , 25 mM de frutose e 50 mM de UDP-glicose. A reação enzimática foi montada em microtubos contendo extrato e tampão na proporção 1:1 (v/v). O volume de extrato utilizado na reação variou para cada amostra, para garantir o teor de proteína total utilizado na reação de 18 ± 2 μg . A reação foi incubada a 30 °C por 0, 30, 60 e 90 minutos, e em cada tempo foi retirada uma alíquota de 50 μL do meio de reação e colocada em tubos de ensaio com rosca e imediatamente levado à banho-maria a 100 °C por 3 minutos para interromper a reação enzimática.

As determinações da sacarose formada nas reações enzimáticas da SPS e da SuSy foram realizadas como descrito por Zhu et al. (1997). Na alíquota retirada do meio de reação em cada tempo foi adicionado 100 μL de KOH 30% e levado a banho-maria a 100 °C por 10 minutos. Após o resfriamento foi adicionado 1,5 mL de reagente antrona. O meio de reação foi incubado a 40 °C por 20 minutos e realizada a leitura de absorbância em espectrofotômetro no comprimento de onda 620 nm. A concentração de sacarose foi calculada a partir da curva padrão obtida por uma solução de sacarose na concentração de 0,5, 1, 2, 3 e 4 mM de sacarose. Como branco, colocou-se água no lugar da amostra. A atividade enzimática, expressa em mmol de sacarose $\text{g MF}^{-1} \text{ min}^{-1}$, foi calculada considerando a diferença da sacarose formada entre duas amostras retiradas nos diferentes tempos (T90-T60 ou T60-T30 ou T30-T0).

3.5.2 Análises de quebra de sacarose (IVA e IVN)

A reação da enzima invertase neutra (IVN) ocorreu em tampão acetato de sódio 1M com pH 7,5. A reação enzimática foi montada em microtubos contendo extrato, tampão e solução de sacarose 240 mM na proporção 1:1:2 (v/v/v), respectivamente. O volume de extrato utilizado na reação variou para cada amostra, para garantir o teor de proteína total utilizado na reação de 18 ± 2 μg . A reação foi incubada a 37 °C por 0, 30 e 60 minutos. Em cada tempo foi

retirada uma alíquota de 200 μL do meio de reação e colocada em tubos de ensaio e imediatamente levado à banho-maria a 100 °C por 3 minutos para interromper a reação enzimática.

Para a reação da enzima invertase ácida (IVA) utilizou-se tampão acetato de sódio 1M com pH 4,5. A reação enzimática foi montada em microtubos contendo extrato, tampão e solução de sacarose 240 mM na proporção 1:1:2 (v/v/v), respectivamente. O volume de extrato utilizado na reação variou para cada amostra, para garantir o teor de proteína total utilizado na reação de 18 ± 2 μg . A reação foi incubada a 37 °C por 0, 30 e 60 minutos. Em cada tempo foi retirada uma alíquota de 200 μL do meio de reação e colocada em tubos de ensaio, em seguida foi adicionado 30 μL de tampão Tris 2,5M e imediatamente levado à banho-maria a 100 °C por 3 minutos para interromper a reação enzimática.

A determinação dos açúcares redutores formados pela quebra da sacarose foi realizada pelo método de Somogyi-Nelson (NELSON, 1944; SOMOGYI, 1945; 1952). No tubo de ensaio contendo 200 μL da reação enzimática interrompida adicionou-se 300 μL de água destilada e 500 μL da solução de Somogyi. Os tubos foram agitados, vedados e levados a banho-maria a 100 °C por 10 minutos. Após esse tempo os tubos foram resfriados em banho de gelo e, em seguida, foram adicionados 500 μL da solução de Nelson e 1000 μL de água. Os tubos foram agitados e foram feitas as leituras de absorbância em espectrofotômetro no comprimento de onda 560 nm. A concentração de açúcares redutores foi calculada a partir da curva padrão obtida com soluções de glicose na concentração de 0,5, 1, 2, 3 e 4 mM. Como branco, colocou-se água no lugar da amostra. A atividade enzimática, expressa em μmol de glicose $\text{g MF}^{-1} \text{ min}^{-1}$, foi calculada considerando a diferença da glicose formada entre duas amostras retiradas nos diferentes tempos (T60-T30 ou T30-T0).

3.6 Análises nutricionais

Para as análises nutricionais foram coletadas vinte folhas +1 Kuijper (DILLEWIJN, 1952) de plantas escolhidas aleatoriamente nas parcelas, a cada avaliação do experimento (300, 330, 360, 390 e 410 DAP). Estas folhas foram lavadas, a nervura central foi descartada e posteriormente acondicionadas em sacos de papel, identificados. A secagem foi realizada em estufa de circulação forçada de ar à 60 °C até atingirem peso constante e, em seguida o material foi moído em equipamento dotado de peneira com crivo de 1 mm. As análises nutricionais foram realizadas no Laboratório de Relação Solo-Planta do Departamento de Produção Vegetal (Agricultura) (FCA/UNESP) e seguiu a metodologia descrita por Carmo et al., publicada pela EMBRAPA (2000).

3.6.1 Teor de nitrogênio das folhas

A determinação do nitrogênio foi realizada através da solubilização sulfúrica seguida do método semi-micro Kjeldahl. Após a digestão das amostras, estas seguiram para a destilação e titulação: Todo o extrato foi colocado destilador semi-micro Kjeldahl conectado a um erlenmeyer de 50mL, contendo 10mL da solução de H_3BO_3 20gL^{-1} com a mistura de indicadores, na extremidade de refrigeração do destilador. Gradativamente adicionou-se 10mL de NaOH 13molL^{-1} ao digerido até atingir um volume de 30mL. Retirou-se o frasco e titulou-se com solução de H_2SO_4 $0,014\text{molL}^{-1}$, até a mudança da cor para rosa. Uma prova em branco deve ser analisada conjuntamente com as amostras. Os cálculos foram feitos conforme Carmo et al., (2000).

3.6.2 Teor de fósforo das folhas

A determinação do P foi realizada por Espectrometria com amarelo de vanadato, segundo EMBRAPA (2008). Foram feitas as soluções de vanadato e molibdato separadamente. A seguir pipetou-se 5,0mL do extrato da solubilização nítrico-perclórica, adicionou-se a mistura dos reagentes e logo após efetuou-se a leitura no espectrômetro a 420nm, construindo a curva analítica e estimando a concentração de P no extrato solubilizado.

3.6.3 Teor de potássio das folhas

O teor de K foi determinado através da Espectrometria de chama de emissão. Para tanto, dilui-se o extrato obtido na solubilização nítrico-perclórica para que a concentração de K da solução fique dentro da curva padrão previamente preparada. Geralmente, este extrato é diluído 10 vezes, na proporção 1:9, usando uma parte de extrato para nove partes de água ultra pura. O fotômetro foi calibrado com os padrões 0 e 50mgL^{-1} K respectivamente, para as leituras 0 e 100. Procedeu-se às leituras dos demais padrões, quando aparelho estabilizar, seguida da curva analítica para obtenção da leitura das amostras.

3.6.4 Teor de cálcio e magnésio das folhas

Os teores de Ca e Mg foram determinados por espectrometria de absorção. Após digestão nítrico-perclórica das amostras, pipetou-se 1,0 mL da solução do extrato obtido em copo de polipropileno. O volume foi completado para 20 mL com água ultra pura (alíquota A); Retirou-se 1,0 mL da alíquota A para tubo de ensaio e adicionou-se 4,0 mL de solução de lantânio a $1,14\text{gL}^{-1}$. Em seguida efetuou-se as leituras no espectrômetro de absorção. Os

cálculos foram feitos conforme Carmo et al., (2000).

3.6.5 Teor de boro das folhas

O método por colorimetria pela azometina H foi utilizado para determinação de B no tecido vegetal da cana-de-açúcar, conforme Malavolta et al. (1997). A quantidade de 0,2 g de amostra foi transferida para cadinho de porcelana e incinerada em forno elétrico a 550°C por 3 horas e, após o esfriamento, adicionou-se 10 mL de HCl 0,1N para dissolução da cinza, com transferência do extrato para tubo de ensaio seguido do repouso por 24 horas. A alíquota de 2 mL do extrato foi retirada, adicionando-se 2 mL de solução tampão (ácido acético glacial), procedeu-se a homogeneização e adicionou-se 2 mL de azometina H 0,45 seguido de agitação. A solução (amostra) foi transferida para tubo colorimétrico após 30 minutos em repouso e realizou-se a leitura com filtro azul no comprimento de onda de 420 nm, acertando o zero no espectrofotômetro de emissão atômica com HCl 0,1N.

3.6.6 Teor de ferro das folhas

A determinação do teor de Fe das folhas foi realizada através da Espectrometria de absorção atômica. Preparou-se as soluções estoque de ferro contendo 100 mg L^{-1} de Fe e a solução estoque diluída contendo 10 mg^{-1} . Procedeu-se às leituras no extrato nítrico-perclórico no espectrômetro de absorção, montou-se as curvas analíticas e a concentração de Fe foi mensurada.

3.6.7 Teor de enxofre das folhas

O teor de enxofre foi determinado pelo método de Turbidimetria. Pipetou-se pipetar 2,0mL do extrato obtido na digestão, completado para 20mL com água deionizada, adicionou uma alíquota de 10mL seguido de 1,0mL de HCl 6 molL^{-1} e 0,5g de BaCl₂. A solução foi vigorosamente agitada por 30 segundos. Em seguida efetuou-se a leitura, após exatos 5 minutos cronometrados, no espectrômetro, em comprimento de onda de 420nm. Construiu-se a curva analítica e estimou-se a concentração de S.

3.7 Análise estatística

Para acompanhar e discriminar o período de maturação entre as duas variedades, os dados das análises tecnológicas foram submetidos ao teste de "t" (teste de Student, $p < 0,05$) entre as variedades e dentro das épocas de estudos. Para determinar quais variáveis estavam associadas à maturação das variedades, realizou-se a correlação de Pearson entre as variáveis

morfológicas, fisiológicas, enzimáticas, nutricionais e as variáveis tecnológicas, para cada variedade. Aquelas que apresentaram o coeficiente de correlação acima de 70% foram discutidas. Para obter as equações que estimam as variáveis tecnológicas utilizou-se técnicas de regressão múltipla (melhor subconjunto de regressão e ajuste de regressão múltipla) a partir das variáveis comprimento da folha +3, número de entrenós, índice SPAD, altura da folha +1, diâmetro do colmo e número de folhas verdes. Estas foram escolhidas por apresentarem maior praticidade e rapidez de análise. Para todas as análises utilizou-se o *software* Minitab 16.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização da maturação das variedades RB855156 e RB92579

Ao considerarmos as análises tecnológicas, foi verificado que o Brix% caldo, pureza do caldo, PCC e ATR discriminaram as duas variedades, como esperado por se tratarem de variedades com características contrastantes de maturação, sendo a RB855156 estatisticamente superior a RB92579 (Figura 2).

O teor de sólidos solúveis (Brix% caldo) entre as épocas de amostragem variou de 14,87 a 20,45% para a variedade precoce RB855156 e de 10,80 a 16,02% para a variedade média-tardia RB92579 (Figura 2-A). Nota-se que aos 360 DAP a RB855156 apresentava 18,53% de Brix no caldo, apta, segundo este parâmetro, para ser colhida e industrializada. Condição diferente foi observada para a RB92579 que até os 410 DAP não apresentou teor de Brix suficiente indicativo para a colheita. O desempenho da RB855156 corrobora com a descrição de Cesar e Silva (2016) que consideram a variedade como um referencial de início da safra na região de Piracicaba, citando que em alguns casos a variedade está apta para o corte aos 330 DAP, geralmente coincidente com o mês de abril para as condições edafoclimáticas da região.

Em relação a pureza do caldo (Figura 2-B), aos 330 dias a variedade RB855156 já apresentava mais de 80% (82,28%), descrito como valor base para a aptidão para a colheita. Os valores obtidos desta variável foram crescentes, atingindo 89,83% aos 420 DAP. Fernandes (2003) considera que a pureza, por se tratar da porcentagem de Pol% caldo no Brix% caldo, é um indicador da quantidade de açúcares em relação aos sólidos solúveis no caldo, sendo o mais importante indicador do estágio de maturação da cana. Durante o período de crescimento da planta, a pureza da cana é baixa devido a formação e consumo de açúcares para o crescimento, mas, durante a maturação, o acúmulo de sacarose é progressivamente elevado, concomitante ao aumento de açúcares em relação aos sólidos solúveis (BATISTA,

2013; SALES, 2013; STUPIELLO, 2000).

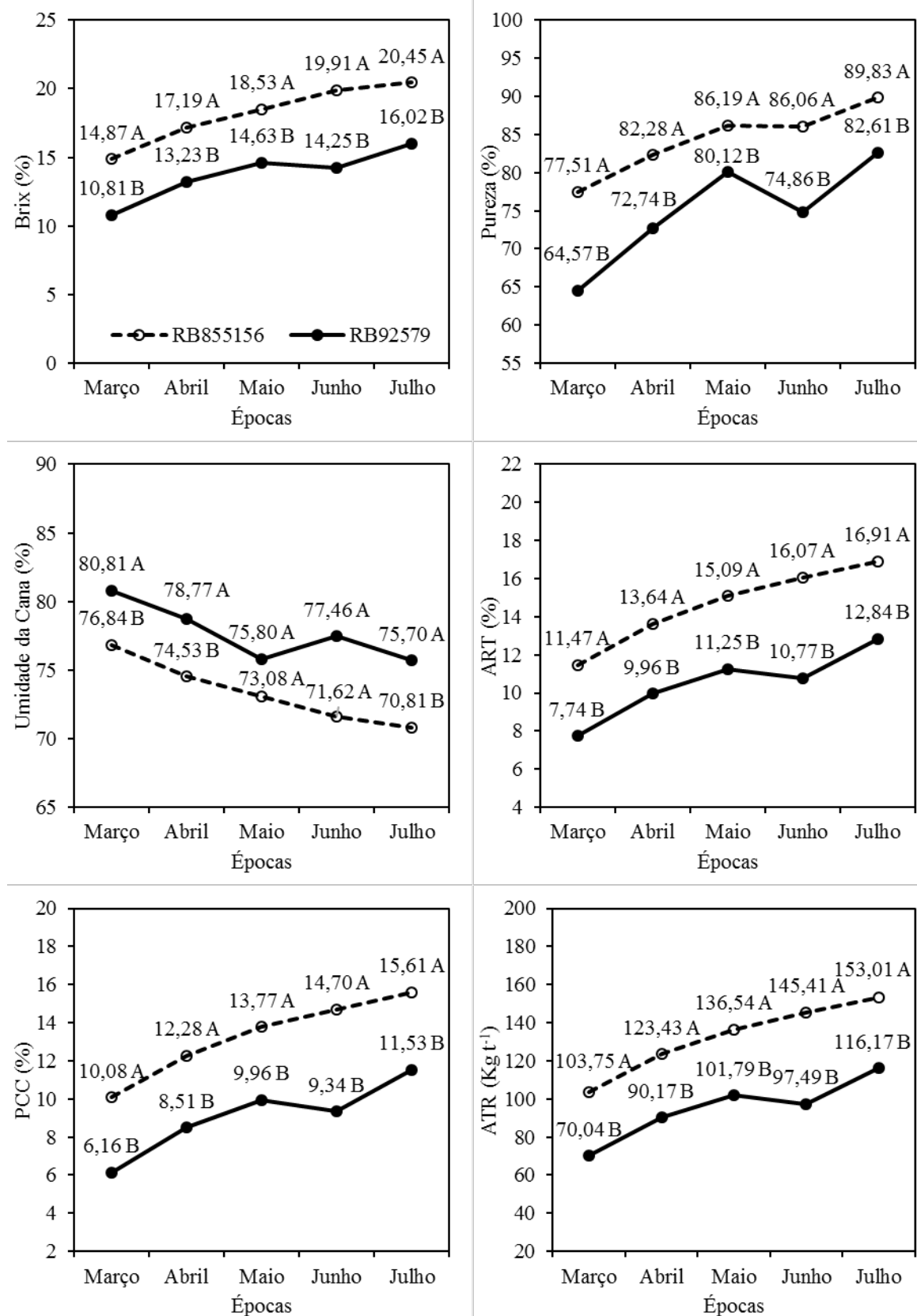


Figura 2. Brix% caldo (A), Pureza do caldo (B), Umidade da cana (C), ART (D), PCC (E) e ATR (F) das variedades RB92579 e RB855156 ao longo das épocas avaliação. Médias entre variedades e dentro da época seguidas de letras distintas diferem pelo teste t a 5% de probabilidade

A pureza do caldo entre as épocas de amostragem variou de 64,57% (300 DAP) a 82,61% (420 DAP) na variedade RB92579, indicando que em conformidade com este parâmetro, estaria iniciando o processo de maturação aos 360 DAP. Fernandes (2000) e Sales (2013) relatam que destilarias autônomas têm utilizado a porcentagem de açúcares totais contidas no Brix para expressar a qualidade do caldo para a fermentação. Eles consideram que a pureza deve atingir 85% no transcorrer da safra para que uma variedade seja recomendada a industrialização da cana. Como a RB92579 é uma variedade média-tardia (Período de utilização industrial-PUI médio), com colheita estimada do meio para o final de safra (RIDESA, 2010), esta variável provavelmente seria destacada em amostragens até o fim da safra.

Considerando o Brix e a pureza do caldo das duas variedades e em conformidade com Fernandes (2000), Oliveira et al. (1999) e Sales (2013), designamos que a variedade RB855156 iniciava o estágio de maturação aos 360 DAP, quando se enquadrava nos menores índices dos parâmetros estabelecidos.

Em relação a umidade dos colmos, as variedades foram estatisticamente diferenciadas, sendo a RB92579 superior a RB855156 em todas as épocas (Figura 2-C). Os valores máximos foram obtidos aos 300 DAP quando os tecidos vegetais encontravam-se tenros e com maior reserva de água em comparação com as avaliações posteriores. Ferreira (2003) afirma que a umidade dos colmos, em condições de suprimento regular de água no solo, pode chegar a 78% do peso nos estádios vegetativos, decrescendo para cerca de 68% quando atinge o ponto máximo de maturação. Em conformidade com este autor, com Mutton e Mutton (1992) e Viana (2011) nota-se o decréscimo regular em umidade da variedade precoce, atingindo 73,08% aos 360 DAP, época de transição entre os estádios vegetativos e de maturação e 70,81% de umidade aos 420 DAP, com a evolução deste processo. A umidade é considerada um importante atributo relacionado a maturação porque tanto o excesso de umidade quanto valores reduzidos propiciam baixa qualidade do caldo. Lima (2009) explica que a umidade ideal para a colheita da cana-de-açúcar é quando o teor atinge 71% e Viana (2011) acrescenta que quando o teor de umidade na cana é inferior a 65%, há maior dificuldade na extração do caldo e uma maior incidência de quebra dos colmos no momento da colheita, interferindo na rentabilidade. A diferença entre as duas variedades é enfática para distinguir a precocidade de uma em comparação com a maturação média da outra, já que os tecidos jovens apresentam maior teor de água, requerida abundantemente para os processos vitais, especialmente para a manutenção da turgidez, translocação de suprlmentos e divisão celular.

Quanto ao ART, na variedade RB855156 os valores variaram entre 11,46% a 16,9% ao

longo das épocas de amostragem, enquanto a para a RB92579 variou de 7,74% a 12,84% (Figura 2-D). Estatisticamente a RB855156 é superior a RB92579. O ART trata-se do somatório de todos os açúcares presentes no caldo e segundo Steinle (2013) representa o teor de glicose, frutose, sacarose e outras substâncias redutoras. Neste experimento o ART foi crescente ao longo das épocas de estudo para as duas variedades, concordando com este conceito.

O PCC da RB855156 entre as épocas de amostragem variou de 10,08 a 15,61%, estatisticamente superior a RB92579 que por sua vez, variou de 6,16 a 11,53% (Figura 2-E). Brieger (1968), Leme Junior e Borges (1970), Oliveira (1999) e Serra et al. (1972) consideram que o PCC é um parâmetro de qualidade da matéria prima, passível de otimização quando a colheita é realizada com PCC igual ou superior a 14,4%. A variedade RB855156 atingiu valor próximo a este (14,70%) aos 390 DAP, enquanto a RB92579 até os 420 DAP, ainda não apresentava valores ideais para a colheita. Conforme Tironi et al. (2012), os menores valores de PCC indicam menor rendimento industrial na produção de açúcar ou álcool e essas diferenças podem estar relacionadas às características intrínsecas de cada variedade, considerando que algumas apresentam ciclo precoce, em que os açúcares redutores são convertidos a sacarose no início da safra. No caso de variedades médias-tardias, a utilização da sacarose para suprir a demanda metabólica decorrente do desenvolvimento vegetativo comprometeu o acúmulo de carboidrato nos colmos das plantas e o percentual de sacarose é inferior, indicando a menor proporção de conversão. Os dados obtidos corroboram com a explicação de Tironi (2012), já que a variedade precoce foi superior à média-tardia ao longo de todo o experimento.

Em relação ao ATR, os valores foram crescentes ao longo das épocas para as duas variedades (Figura 2-F). Ambas apresentaram o maior valor de ATR aos 420 DAP, com destaque para a variedade RB855156 que, conforme a média do período, diferiu estatisticamente da RB92579, com 25% superioridade na última avaliação. Esta diferença deve-se principalmente aos estádios fisiológicos em que as variedades foram avaliadas, já que o ATR é proporcional ao Brix e Pol do caldo e ambos representativos da conversão de açúcares redutores a carboidratos no colmo (CAPUTO, 2006; CAPUTO et al. 2008; VIANA (2011). Além do estágio fenológico, o baixo valor de ATR da RB92579 em comparação com a RB855156 pode estar associado ao elevado desenvolvimento de fibras, já que este é inversamente proporcional ao ATR (CAPUTO, 2006). O ATR é uma importante variável para determinar a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. De fato, Ferreira (2003) afirma que este parâmetro representa a quantidade de açúcares que são recuperados na usina (kg t^{-1} cana)

assumindo perdas na lavagem da cana, extração (perda de pol no bagaço final), torta dos filtros ou prensas e as perdas indeterminadas, considerando a eficiência média padrão. Esta variável é constituinte do sistema de pagamento da cana implantado em São Paulo e é uma referência da rentabilidade do produto colhido.

De forma geral, nota-se que o Brix% caldo, pureza do caldo, PCC e ATR da cana são crescentes ao longo das épocas, possivelmente favorecidos pelos fatores climáticos, como redução da temperatura do ar e precipitação, ou porque não houve um fator que provocasse a redução na conversão e acúmulo de sacarose ou deterioração do tecido. O acompanhamento destes fatores é de suma importância para a designação correta do momento de corte na cana-de-açúcar que conferirá a viabilidade e máximo rendimento econômico.

De posse destes dados, correlacionamos as variáveis fisiológicas, morfológicas e enzimáticas analisadas durante as épocas de estudo com as variáveis tecnológicas para detectar quais delas poderiam também indicar a maturação ou estarem associadas a este estágio.

4.2 Correlação entre as variáveis fisiológicas, morfológicas e enzimáticas com as variáveis tecnológicas para a variedade RB855156

O Brix% caldo foi positivamente correlacionado na variedade RB855156 com o número de entrenós e inversamente correlacionado com as variáveis morfológicas (comprimento e largura da folha +3, AF, IAF), enzimática (SuSy quebra nos colmos) e fisiológicas (SPAD, clorofila *a*, *b*, *a+b* e carotenoides) (Tabela 2). Isto corresponde ao desempenho e influência das variáveis no acúmulo de sacarose ao longo das épocas de estudo.

Borém e Santos (2013) e Garcia (2008) traçam uma importante relação entre o teor de Brix e o conteúdo de clorofilas e/ou pigmentos nas folhas. Segundo estes autores, o caldo da cana é constituído de uma fração insolúvel (as fibras) e outra solúvel, composta principalmente de sacarose, glicose, frutose, mas que também contém aminoácidos, gorduras, ceras, corantes, ácidos orgânicos e sólidos inorgânicos (SiO₂, K₂O, CaO, MgO, Cl, P₂O₅, SO₃, Na₂O). Os carboidratos sacarose, glicose e frutose são constituídos na célula a partir das reações de carboxilação no ciclo de Calvin-Benson impulsionado pelos produtos das reações fotoquímicas da fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2013). Esta etapa por sua vez, é realizada inicialmente pela clorofila *a* enquanto os demais pigmentos atuam de forma auxiliar na absorção de luz e na transferência da energia para os centros de reação (SILVA et al., 2014). Logo, a concentração de carboidratos na porção solúvel do caldo é possível devido a atividade fotossintética. Garcia (2008) complementa que na cana-de-açúcar a alocação de sacarose é

uma resposta combinada da taxa fotossintética nas folhas, do deslocamento dos produtos carbonados, carregamento e descarregamento do floema conforme regulação fonte e dreno, metabolismo do colmo incluindo o transporte de membrana nos vacúolos e restrições a maturação associadas à duração e tempo, sendo as enzimas envolvidas no metabolismo de carboidratos fundamentais no processo.

Tabela 2. Coeficiente de correlação (r) entre as variáveis tecnológicas com as análises morfológicas, enzimáticas e fisiológicas da variedade RB855156.

Variáveis	Brix% caldo	PUREZA	UMIDADE	FIBRA	ART	PCC	ATR
SPAD	-0,70*	-	0,745	-0,784	-0,703	-0,702	-0,703
Clorofila <i>a</i>	-0,842	-0,844	0,847	-0,767	-0,839	-0,840	-0,839
Clorofila <i>b</i>	-0,837	-0,852	0,861	-0,834	-0,839	-0,841	-0,839
Clorofila <i>a+b</i>	-0,849	-0,855	0,860	-0,792	-0,847	-0,849	-0,847
Carotenoides	-0,842	-0,835	0,842	-0,748	-0,835	-0,836	-0,835
Comprimento +3	-0,782	-0,819	0,823	-0,845	-0,805	-0,808	-0,805
Largura +3	-	-	-	-0,705	-	-	-
AF	-0,779	-0,852	0,825	-0,863	-0,809	-0,814	-0,809
IAF	-0,779	-0,852	0,825	-0,863	-0,809	-0,814	-0,809
Nº de entrenós	0,866	0,904	-0,906	0,915	0,885	0,888	0,885
SuSy quebra- Colmo	-0,711	-0,764	0,728	-	-0,723	-0,727	-0,723

SPAD: Índice SPAD; Comprimento +3: Comprimento da folha +3; Largura +3: Largura da folha +3; AF: Área foliar; IAF: Índice de Área foliar, m² m²; Nº de entrenós: Número de entrenós; ART: Açúcares redutores totais; PCC: Pol% cana; ATR: Açúcares totais recuperáveis; *Todos valores significativos $p < 0,01$; -: Valores inferiores a 0,7.

Todos os resultados das análises de teor de clorofila, seja por espectrometria ou através do índice SPAD, foram inversamente correlacionados com o Brix do caldo (Tabela 2), sugerindo que a elevação da concentração de sacarose nos colmos é concomitante com a redução dos pigmentos fotossintetizantes nas folhas.

Katz et al. (1978), Thomas e Stoddart (1980) já afirmavam que o teor dos pigmentos presentes em plantas é variável durante todo o seu ciclo de vida e as concentrações influenciadas por diversos fatores, sem no entanto, correlacionarem com o teor de carboidratos, especialmente os de reserva (sacarose e amido). Estes autores explicam que as taxas fotossintéticas se manterão suficientemente adequadas para produzir a energia química requerida durante os estádios vegetativos, até que, por regulações metabólicas, iniciam-se os processos de maturação tecidular e, sequencialmente, a senescência, estádios em que o suprimento energético torna-se diferenciado (ROLLAND et al., 2012; SALLA et al., 2007; THOMAS; STODDART, 1980).

Segundo Rodrigues (1995) e Stange (1965), a maturação da cana-de-açúcar é um estágio senescente entre o crescimento rápido e a morte final da planta e engloba um processo de

deterioração de células, tecidos e órgãos que progressivamente resultam no término do ciclo da cultura. Lim, Kim e Nam (2007) explicam que em plantas anuais, a senescência inicia-se nas folhas, onde são observadas alterações na estrutura celular, metabolismo e expressão gênica. Metabolicamente, a assimilação de carbono é substituída pelo catabolismo da clorofila e macromoléculas como proteínas, membranas lipídicas e RNA, o que possibilita a reciclagem de nitrogênio e de nutrientes móveis da folha para outros órgãos. A mudança mais significativa, no entanto, é a deterioração do cloroplasto e de seus constituintes, principalmente os pigmentos fotossintetizantes, ocasionando a perda da coloração verde característica. Matile, Hörtensteiner e Thomas (1999) afirmam que durante a senescência foliar, é possível detectar produtos intermediários derivados da degradação da clorofila, que indicam a remoção do radical fitol e do átomo central de magnésio do pigmento; isto corresponde à perda da emissividade do espectro de luz verde dos tecidos.

Ainda em relação às alterações metabólicas nas folhas senescentes, Lobo (2012) afirma que a degradação de proteínas auxilia na sinalização entre os órgão fonte e dreno de carboidratos, promovendo o aumento da atividade de invertases (RUAN et al., 2009), hexoquinases (JANG et al., 1997) e o acúmulo de sacarose nos tecidos de armazenamento.

Outra consideração importante é feita por Stange (1965) que salienta o fato de o início da senescência, coincidente com a maturação, ser notavelmente expressa pelo aumento considerável do tamanho da célula, vacuolação e estabelecimento da parede celular secundária. Este autor afirma que há diferenças na composição da parede celular no que diz respeito ao conteúdo relativo de substâncias péticas, hemicelulose e celulose nas regiões mais externas no córtex e tecidos vasculares vegetais durante a maturação, tornando as regiões mais velhas lignificadas e as novas permanecem tenras, o que pode diferenciar o metabolismo e transporte de carboidratos entre as células destes tecidos. Estudos anatômicos sobre a disposição das células lignificadas devem ser realizados, mas esta afirmação pode ser um indício de que há um direcionamento ou facilitação física para a translocação de sacarose para o centro dos colmos desenvolvidos e aptos ao estoque de sacarose.

Segundo Lim, Kim e Nam, (2007), a senescência natural em folhas inicia-se a partir do ápice e segue rumo à base; em condições ambientais estressantes, essa ordem pode não ser representativa e a degradação dos tecidos pode ocorrer de forma localizada. McCormick, Watt e Cramer (2009) complementam que apesar de haver queda de folhas durante o período de maturação na cana-de-açúcar, as que permanecem são capazes de suprir a demanda dos produtos fotossintéticos requerida pelos drenos. Segundo estes autores, a diminuição do número de folhas neste estágio não é o responsável pela redução gradativa da atividade

fotossintética, mas sim, o acúmulo de sacarose nos colmos inibe a produção de fotossintatos porque há um sistema de retroalimentação nas folhas que regula tal atividade. Apesar desta constatação, várias perguntas sobre esta regulação ainda permanecem sem respostas.

Existem vários trabalhos sobre a variação dos teores dos pigmentos fotossintetizantes ao longo do ciclo da cana-de-açúcar, muitos com os esforços voltados para detectar o desempenho desses em condições estressantes ou para diferenciar variedades. Também existem diversos sobre o desempenho do Brix ao longo do ciclo da cultura (ABREU et al., 2007; BATISTA, 2013; BERTON, 2014; GROF et al., 2007), muitos em função da nutrição (TEIXEIRA et al., 2016) ou variação de teores de nutrientes do solo (TEIXEIRA FILHO et al., 2013), aplicação de maturadores (CAPUTO et al., 2008), redutores de crescimento, variação das épocas de aplicação destes produtos e com a produtividade da cana-de-açúcar, mas a associação com o teor dos pigmentos ou até atividade fotossintética ainda é escassa.

O índice SPAD e o teor de clorofila *a*, *b*, *a+b* e carotenoides também foram inversamente correlacionados com o ATR, PCC, Fibras, e ART, além do Brix% caldo, mas com a Pureza, apenas o SPAD não foi correlacionado (Tabela 2).

Os açúcares totais recuperáveis (ATR) representam a quantidade de açúcares (sacarose, glicose e frutose) recuperados da cana até o xarope (FERNANDES, 2000). Segundo Caputo (2008), o ATR é proporcional ao Brix% caldo e Pol% cana (PCC) e representam a eficiência de conversão de açúcares redutores a carboidratos no colmo. Esta afirmativa é confirmada por Souza et al. (2014), Souza e Korndörfer (2011) e por Teixeira Filho (2013), que observaram crescentes teores destes atributos conforme o avanço da maturação da cana-de-açúcar. As correlações entre as variáveis fisiológicas com o ATR e PCC foram similares ao observado com o Brix% caldo, ou seja, há redução nos teores de pigmentos foliares, consequentemente, também no índice SPAD, enquanto há elevação no acúmulo de açúcares totais e Pol do caldo (Tabela 2).

Na literatura são poucos os trabalhos que relatam experiências de observação da variação dos atributos tecnológicos da cana-de-açúcar sem que haja aplicação de reguladores vegetais ou avaliação de dosagens diferentes do usual/recomendado para a cultura, por isso, nos trabalhos citados, teve-se como referência as testemunhas analisadas. Nestes, frequentemente observa-se incrementos no Brix% caldo, ATR, PCC e pureza (SOUZA et al., 2014; SOUZA, KORNDÖRFER, 2011; TEIXEIRA FILHO, 2013;) e não há qualquer interação com a variação dos pigmentos fotossintetizantes. Novos estudos para verificar se há correlação entre estes dados seriam interessantes para complementar as constatações obtidas neste trabalho.

Em relação ao ART, Fernandes (2003) e Steinle (2013) consideram que durante a

maturação da cana-de-açúcar há elevação do teor de sacarose. Neste período, há também a concomitante produção de açúcares redutores, em proporções a área foliar que ainda está ativa fotossinteticamente. Có Júnior, Marques e Tasso Júnior (2008) explicam que o ART é proporcional ao ATR e tende a aumentar com o transcorrer da maturação da cana-de-açúcar. Na Tabela 2 podemos notar que o ART, assim como as demais variáveis tecnológicas, foi inversamente correlacionado com os teores de clorofilas, SPAD e carotenoides.

A correlação entre o índice SPAD, clorofilas *a*, *b*, *a+b* e carotenoides também foi indireta para o conteúdo de fibras nas amostras (Tabela 2). Caputo (2006) explica que quanto maior o teor de sacarose, menor o teor de fibras. Esta correlação provavelmente se justifica porque a fibra da cana-de-açúcar é constituída por aproximadamente 50% de celulose, 28% de hemicelulose, 20% de lignina e 2% de cinzas e outros compostos (proteínas, enzimas e compostos fenólicos) e esses materiais são ricos essencialmente em carbono e hidrogênio (TAVARES; AMARAL, 2016), os mesmos precursores dos carboidratos glicose, frutose e sacarose. É possível que a síntese de fibras nos tecidos concorra com a produção de sacarose. Logicamente que em determinados momentos durante o ciclo da cultura, o fornecimento de hexoses voltadas para o crescimento e lignificação dos tecidos sobressaia ao acúmulo, porém durante a maturação, o ideal para a produtividade agrônômica seria o direcionamento para a síntese de sacarose.

Apezato-da-Gloria e Carmello-Guerreiro (2003) descrevem que o esclerênquima (fibras) do floema encontra-se na parte externa deste tecido vascular e que em plantas que não apresentam crescimento secundário, caso da cana-de-açúcar, a síntese das fibras após a total constituição do protofloema é praticamente nulo. Isto elucida que durante o período vegetativo as hexoses em parte, são direcionadas para a constituição do esclerênquima, em detrimento a sacarose e com o avançar do ciclo da cultura, o direcionamento de hexoses se inverte.

Walsh et al. (2005) explicam que a capacidade de armazenamento de sacarose de uma variedade é tão dependente das propriedades biofísicas do tecido de armazenamento e de transporte quanto a atividade fotossintética e enzimática. Então, ainda que haja um “gasto” de hexoses para a constituição das fibras, faz-se essencial para a obtenção do produto de interesse.

Com relação a pureza do caldo, também houve correlação inversa entre clorofilas *a*, *b*, *a+b* e carotenoides e apenas o índice SPAD, diferentemente das demais comparações com os atributos tecnológicos, não foi correlacionado (Tabela 2). Fernandes (2003) explica que a pureza do caldo da cana-de-açúcar diz respeito ao teor de sacarose contido nos sólidos

solúveis, mensurado através do Brix do caldo e por isso tem sido considerada como um excelente indicador do estágio de maturação. Como já explicado anteriormente, os pigmentos fotossintetizantes estão associados com a atividade fotossintética e produção de hexoses. Com o prosseguir do ciclo da cultura, o teor de sacarose é progressivamente elevado e são diversos os fatores que contribuem para este fato. Um deles é a elevação da atividade das enzimas envolvidas na síntese de sacarose e redução da atividade das envolvidas com a quebra deste carboidrato. Houve correlação inversa da atividade da sacarose sintase (SuSy), com a direção de reação no sentido quebra (produtos da reação- glicose e frutose), na região do entrenó da cana, com a pureza do caldo (Tabela 2). Isto demonstra que a atividade da SuSy-quebra nos colmos reduz enquanto a pureza do caldo é elevada (Figura 2-B).

Silva (1996) complementa que os valores de pureza variam ao longo do ciclo e/ou período de análise, além de serem influenciados pelos genótipos. Caputo (2006) explica que quanto maior a pureza do caldo, maiores as possibilidades de produzir um açúcar de melhor qualidade. Os demais sólidos solúveis, principalmente o amido (polissacarídeo) aumentam a viscosidade do caldo, são precursores de agentes que intensificam a coloração escurecida e estão associados com a imaturidade da cultura em questão.

O IAF, a AF, o comprimento e a largura da folha +3 são atributos biofísicos que podem ser utilizados como uma medida de crescimento de plantas nos modelos agronômicos (SUGAWARA et al., 2009). Vale ressaltar que o comprimento e largura da folha +3 e AF são componentes da equação para obtenção do IAF e por esta razão, há probabilidade de similaridade quando há correlação entre IAF e outra variável.

Segundo Lucchesi (1987), o conhecimento da variação do IAF ao longo do ciclo de uma cultura permite avaliar a capacidade ou a velocidade com que a área foliar ocupa a área do solo disponível. Maiores índices estão associados a uma maior capacidade de aproveitamento da energia solar incidente, com a fotossíntese total e por vezes, utilizado para estimar a evapotranspiração e produtividade.

A variação do IAF é discutida entre pesquisadores. Para Machado et al. (1981), no início do ciclo da cultura o IAF apresenta um crescimento lento, aumentando rapidamente, até atingir um valor máximo, onde permanece praticamente constante. Já Farias et al. (2007) e Ferreira Júnior (2012) consideram que durante a fase de intenso perfilhamento da cana-de-açúcar o IAF é crescente até que haja estabilização do número de colmos. Após esta fase, o IAF decresce em função da redução gradativa e lenta do número de folhas e também da AF, se houver condições ambientais desfavoráveis. De todo modo, o ideal é que o IAF máximo ocorra sob condições climáticas satisfatórias à fotossíntese, ou seja, na época de maior

radiação solar (FARIAS et al., 2007).

Segundo Marafon (2012), o número, a densidade, a altura dos colmos e o diâmetro dos entrenós estão diretamente relacionados com o acúmulo de sacarose, sendo determinantes para a capacidade de armazenamento nas células e são, dentre os componentes de produção, os que apresentam a maior correlação com a produtividade de cana-de-açúcar ($t\ cana\ ha^{-1}$). Entretanto, na avaliação biométrica do experimento, essas variáveis morfológicas foram acompanhadas e nenhuma delas foi correlacionada com as variáveis tecnológicas, ainda que apresentassem um desempenho crescente ao longo do ciclo. Além do IAF e seus componentes (comprimento e largura da folha +3 e AF), houve interação positiva entre todos os atributos tecnológicos com o número de entrenós da variedade RB855156 (Tabela 2).

Este desempenho é diferente do que relata Heerden et al. (2010) e Lisson et al. (2005) que consideram que o ápice de formação de entrenós se dá ao final do estágio vegetativo. Estes autores explicam que no início da maturação, a região meristemática no ápice do colmo, responsável pela diferenciação e formação de novas células, é metabolicamente alterado, inclusive com redução da atividade das invertases que clivam a sacarose em hexoses para suprir a demanda por esqueletos de carbono. Lisson et al. (2005) complementam que ao atingir o máximo desenvolvimento de entrenós, a taxa de crescimento dos já formados, diminui progressivamente até ser nula, quando então amadurecem. Nessa fase ocorre a perda de umidade do colmo, equilibrado por ganho de sacarose e de fibras, enquanto o amadurecimento prossegue da parte inferior para a parte superior (LISSON et al., 2005).

Heerden et al. (2010) explicam que a formação de entrenós depende de fatores intrínsecos e ambientais, principalmente em relação genotipicidade de cada variedade, temperatura ótima, disponibilidade de água e nutrientes do solo e esta pode ter sido a razão de haver produção de novos entrenós juntamente com o acúmulo de sacarose.

Durante os meses das avaliações do experimento, a pluviosidade total, apresentada de forma descendial na Figura 1, reduziu próximo a segunda avaliação do experimento (330 DAP) e houve chuvas entre o 8º e 10º decêndio (semanas e meses), iminente a terceira avaliação (360 DAP). Especificamente quatro dias antes da terceira avaliação, houve chuva de 45,1 mm, a mais intensa de todo o período de análises. Nesta mesma época, a temperatura média também foi sutilmente elevada, em comparação com os dias anteriores e estes fatores podem ter estimulado a retomada de formação de novos entrenós na planta. Este período coincide com valores de Brix indicativos de maturação para a variedade RB855156 (Figura 2-A) confirmando que já havia acúmulo significativo de sacarose e também que a variedade é bastante responsiva aos fatores climáticos, ao ponto de reprogramar a atividade das enzimas

envolvidas no metabolismo de carboidrato e da região meristemática do colmo.

Vale lembrar que nesta situação, a formação de entrenós requer suprimentos para a formação e crescimento dos novos tecidos, suprimentos estes oriundos da atividade fotossintética. Como a sacarose, desejavelmente estocada, também tem a mesma origem, tratam-se de processos concorrentes.

Para as análises de correlações, foi considerado todo o período experimental, sem distinguir as épocas. O que provavelmente selecionou a variável número de colmos como correlata com os atributos tecnológicos foi a elevada formação destas estruturas durante o período vegetativo e a não redução durante a maturação, iniciada, segundo o parâmetro de Brix% caldo, aos 360 DAP. Nota-se no entanto, que o maior coeficiente de correlação ocorreu entre o número de entrenós e fibras, um indício de que a formação dos tecidos do esclerênquima, associados ao floema ou não, eram intensos.

A atividade direcionada a clivagem de sacaroses realizada pela SuSy nos colmos da variedade RB855156 foi inversamente correlacionada com o Brix% caldo, o ATR, a PCC, a Pureza e o ART (Tabela 2).

Segundo Sung et al. (1989), a atividade da SuSy está associada ao crescimento e força de dreno, disponibilizando hexoses requeridas e também favorecendo o carregamento de descarregamento do floema nestas regiões. Amor et al. (1995) complementam que isoformas da SuSy associadas à membrana plasmática evidenciam seu envolvimento na biossíntese de celulose e calose enquanto Buczynski et al. (1993) correlacionam sua atividade com a formação de UDP-glicose utilizada para a formação da parede celular, resultando no alongamento do entrenó. Com estas informações identifica-se que esta enzima tem fundamental ação durante o período vegetativo.

Durante a maturação, no entanto, não há um consenso científico sobre a atividade da SuSy-quebra durante a maturação. Salerno e Curati (2003) observaram que houve redução da clivagem de sacarose através desta enzima durante este estágio e os autores discutiram que neste caso, reduz-se a oferta de precursores para formação de novas estruturas e esta seria uma forma de desestimular novas divisões celulares e o crescimento vegetativo. Schafer et al. (2004), porém, contestam e afirmam que a máxima taxa de clivagem de sacarose foi encontrada em entrenós totalmente formados, com atividade crescente do topo para a base do colmo, sugerindo uma correlação positiva entre a hidrólise da sacarose, atividade da SuSy e conteúdo total de sacarose. Estes autores justificam que as hexoses ali liberadas tendem a suprir a demanda de uma possível formação do pendão floral.

Os resultados do desempenho da SuSy-quebra corroboram com Salerno e Curati (2003) e

a atividade desta enzima contribuiu para os atributos Brix% caldo, ATR, PCC e pureza do caldo.

Datir e Joshi (2016) afirmam que a redução ou elevação da atividade da SuSy durante a maturação é muito variável entre genótipos. A relação entre síntese e clivagem entre as folhas e colmos pode também contribuir para que haja esta diferenciação. Vários são os agentes de regulação desta enzima e a forma como atuam ainda não foram elucidados, porém estes autores sugerem que este pode ser um ponto de diferenciação entre variedades.

Atualmente utiliza-se parâmetros tecnológicos para determinar a maturação da cana-de-açúcar (Brix e índice de maturação) e verificar a qualidade do produto obtido e o valor a ser pago em função disto. Os esforços agrônômicos então se voltaram para otimizar a produtividade e desenvolver tecnologias de manejo para obtenção de qualidade e escalonamento da produção. Desde que determinados os padrões recomendados por Fernandes (2003), pouco se discute sobre a fisiologia no tocante ao acúmulo de açúcares na cana-de-açúcar.

4.3 Correlação entre as variáveis fisiológicas, morfológicas e enzimáticas com as variáveis tecnológicas para a variedade RB92579

A variedade RB92579, conforme os parâmetros previamente descritos (Figura 2 A-F), não havia iniciado o processo de maturação até a última época de avaliação. No entanto, ao compararmos as variáveis fisiológicas, morfológicas e enzimáticas com os atributos tecnológicos, nota-se que as variáveis que foram selecionadas pela análise de correlação foram as mesmas da variedade RB855156, com exceção do índice SPAD e largura da folha +3 (Tabela 3).

A clorofila *a*, *b*, *a+b* e carotenoides foram inversamente correlacionados com o Brix% caldo, o ATR, o PCC, a pureza e o ART provavelmente pelas mesmas razões explanadas sobre a variedade RB855156. Estas variáveis foram, no entanto, positivamente correlacionadas com a umidade, provavelmente porque os tecidos jovens, apresentam elevado teor de umidade e apresentam elevada atividade metabólica e fotossintética para suprir a demanda associada ao crescimento (VIANA, 2011).

O comprimento da folha +3, a AF e o IAF também foram inversamente correlacionados com o Brix% caldo, o ATR, o PCC e o ART, e o número de entrenós apenas não foi positivamente correlacionado com o teor de fibra. Houve correlação positiva entre a SuSy-quebra dos colmos e o ATR, PCC e ART.

O teor de fibra desta variedade apenas foi correlacionado com o PBU e a umidade,

provavelmente porque encontrava-se, até a última avaliação, com elevado teor em relação ao conteúdo de sacarose armazenada nos tecidos adjacentes.

Uma peculiaridade é a não correlação entre as análises morfológicas com a pureza do caldo. Ao notar que houve similaridade entre as variáveis selecionadas entre as duas variedades, ainda que contrastantes, esta não correlação se deve a características varietais ou pelo estágio em que a variedade se encontrava, em que se for devido ao estágio, as alterações morfológicas no período de transição entre o vegetativo e início da maturação são fundamentais para esse processo.

Tabela 3. Coeficiente de correlação (r) entre as variáveis tecnológicas com as análises morfológicas, enzimáticas e fisiológicas da variedade RB92579.

Variáveis	Brix (%)	PUREZA	UMIDADE	FIBRA	ART	PCC	ATR
SPAD	-	-	-	-	-	-	-
Clorofila <i>a</i>	-0,81*	-0,768	0,765	-	-0,828	-0,829	-0,828
Clorofila <i>b</i>	-0,866	-0,778	0,765	-	-0,868	-0,865	-0,867
Clorofila <i>a+b</i>	-0,833	-0,778	0,772	-	-0,847	-0,847	-0,847
Carotenoides	-0,816	-0,794	0,802	-	-0,821	-0,827	-0,821
Comprimento +3	-0,722	-	-	-	-0,715	-0,710	-0,715
Largura +3	-	-	-	-	-	-	-
AF	-0,751	-			-0,742	-0,739	-0,742
IAF	-0,751	-			-0,742	-0,739	-0,742
Nº de entrenós	0,871	0,778	-0,781		0,870	0,868	0,870
SuSy quebra- Colmo	-	-	-	-	-0,701	-0,703	-0,701

SPAD: Índice SPAD; Comprimento +3: Comprimento da folha +3; Largura +3: Largura da folha +3; AF: Área foliar; IAF: Índice de Área foliar, m² m²; Nº de entrenós: Número de entrenós; ART: Açúcares redutores totais; PCC: Pol% cana; ATR: Açúcares totais recuperáveis; *Todos valores significativos p<0,01; -: Valores inferiores a 0,7.

De modo geral, para as duas variedades, designa-se que estas variáveis morfológicas e fisiológicas, estão associadas com a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, porém podem ter efeito chave no desenvolvimento desta cultura e devem ser acompanhadas ao longo do ciclo. Outros estudos relativos ao desempenho específicos destas variáveis, bem como as épocas de maior interação com os parâmetros tecnológicos são necessários e é possível que a adoção de técnicas para estimular a síntese e atividade nos momentos ideais possam produzir efeitos significativos na produtividade de sacarose.

4.4 Equações para estimativa dos valores de Brix% caldo, ATR, PCC, pureza e teor de fibra

A partir das correlações analisadas anteriormente foi possível determinar equações que estimem as variáveis tecnológicas a partir das variáveis mensuradas no experimento em

campo e selecionadas devido à praticidade de obtenção.

A análise de variáveis tecnológicas é a principal ferramenta de determinação do momento de colheita. A estimativa destas através de métodos não destrutivos pode representar uma melhor eficiência na determinação da colheita da cana-de-açúcar, reduzir repetições em experimentos científicos e o período de avaliações.

A dispersão dos dados estimados e mensurados estão apresentados nas Figuras 4 a 10 e os modelos mais apropriados foram os que utilizaram quatro variáveis independentes para as variáveis Brix% caldo, ATR, PCC, Umidade da Cana, ART e Pureza, e cinco variáveis independentes para Fibra.

As funções de regressão foram selecionadas de acordo com a melhor combinação de R^2 (coeficiente de determinação), R^2 ajustado e o S (erro padrão do ajuste) das diversas variáveis independentes analisadas. Em todos os ajustes há R^2 superior a 85%, o que indica que todos os modelos explicam ao menos 85% da variância. O ajuste destas funções apresentou erro padrão baixo (S inferior a 8), isto demonstra boa precisão do modelo em estimar as variáveis dependentes estudadas.

Ao analisar o R^2 de cada variável independente (Tabela 4), observa-se que as variáveis que mais contribuíram para a estimativa das variáveis tecnológicas foram o diâmetro de colmos, seguido pelo número de entrenós. Excepcionalmente, apenas para fibra, as variáveis com maior R^2 foram número de folhas, seguida pelo diâmetro de colmos e, posteriormente, o número de entrenós.

Scarpari e Beauclair (2009) propuseram modelos fisiológicos para estimativa da maturação da cana-de-açúcar tendo como variáveis independentes graus dias, armazenamento de água no solo e produção de fotoassimilados. Entretanto, estes autores encontram baixo R^2 (<50%) para estimativa do ATR, ao contrário do R^2 de 91,7% encontrado no ajuste deste experimento.

Regressões múltiplas são amplamente utilizadas para a estimativa da produtividade, entretanto para variáveis tecnológicas ainda há poucos estudos. Al-Sayed et al. (2012) estimaram o rendimento da cana-de-açúcar em produtividade de colmo ha^{-1} tendo (entre outras) variáveis independentes como % sacarose, % açúcares redutores e % sólidos solúveis totais e obtiveram R^2 superior a 85%. Isto reforça que a utilização de regressões múltiplas é uma ferramenta adequada e confiável para a cana-de-açúcar.

Estes resultados mostram que o uso de regressões múltiplas para estimar variáveis tecnológicas em cana-de-açúcar por meio de variáveis morfológicas de fácil mensuração e índice SPAD é uma ferramenta viável, porém, com a ressalva que essas equações foram

obtidas utilizando-se apenas duas variedades. Portanto, devido aos proeminentes resultados, outros trabalhos avaliando maior número de variedades, em diferentes estágios de corte e durante todo o ciclo de maturação contribuirão para aumentar a precisão e confiabilidade desta técnica.

Tabela 4. Equações para estimativa dos valores de Brix% caldo, ATR, PCC, Umidade, ART, teor de Fibra e Pureza a partir de dados fisiológicos e morfológicos para as variedades RB92579 e RB855156.

Variável	Variedades	Equação	R ²	R ² (aj)	S
Brix% caldo	RB92579 e RB855156	%BRIX = 11,7421 - 0,0226 Alt.+1 + 0,0367 C.+3 + 0,4997 N°E - 0,2293 D.C	90,3	89,2	0,8105
Pureza	RB92579 e RB855156	% Pureza= 79,717 - 0,038 Alt.+1 + 1,440 N° E - 0,928 D.C + 0,200 SPAD	84,6	82,9	3,1537
Umidade	RB92579 e RB855156	%U Cana= 83,311 + 0,020 Alt.+1 - 0,053 C.+3 - 0,647 N°E + 0,256 D.C	85,5	83,9	1,2768
FIBRA	RB92579 e RB855156	% FIBRA= 10,644 - 0,008 Alt.+1 + 0,008 C.+3 + 0,128 N°E - 0,032D.C - 0,059 N°FV	85,5	83,4	0,2995
ART	RB92579 e RB855156	ART= 11,460 - 0,026 Alt.+1 + 0,033 C.+3 + 0,572 N°E - 0,262 D.C	91,6	90,7	0,8687
PCC	RB92579 e RB855156	%PCC= 9,954 - 0,025 Alt.+1 + 0,034 C.+3 + 0,586 N°E - 0,276 D.C	91,8	90,8	0,8822
ATR	RB92579 e RB855156	%ATR= 103,804 - 0,234 Alt.+1 + 0,300 C.+3 + 5,180 N°E - 2,376 D.C	91,7	90,7	7,8579

C.+3: Comprimento da folha +3, cm; N°E: Número de entrenós; unidade; SPAD: Índice SPAD; Alt.+1: Altura de inserção da folha +1, cm; D.C: Diâmetro do colmo; N° FV: Número de folhas verdes, unidade

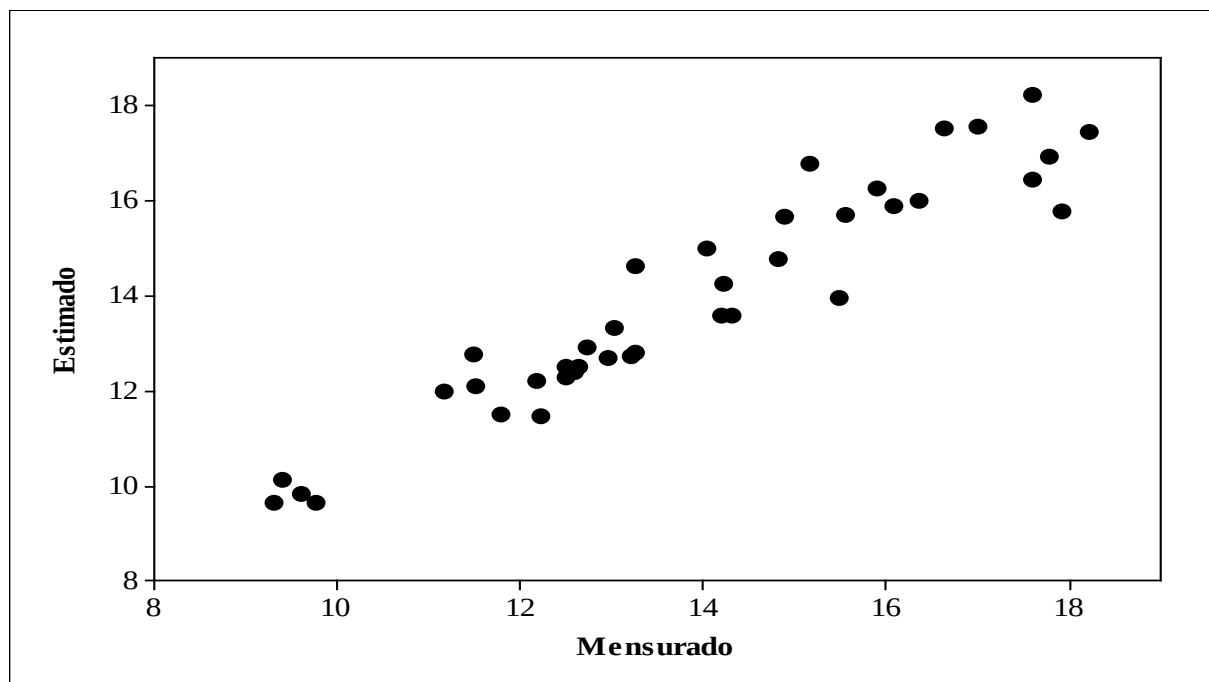


Figura 3. Dados de dispersão entre o Brix% caldo estimado e mensurado utilizando a função $\text{Brix\% caldo} = 11,7421 - 0,0226 * \text{Altura} + 1 + 0,0367 * \text{comp} + 3 + 0,4997 * \text{N}^\circ \text{ de entrenós} - 0,2293 * \text{Diâmetro de colmos}$ para as variedades RB855156 e RB92579.

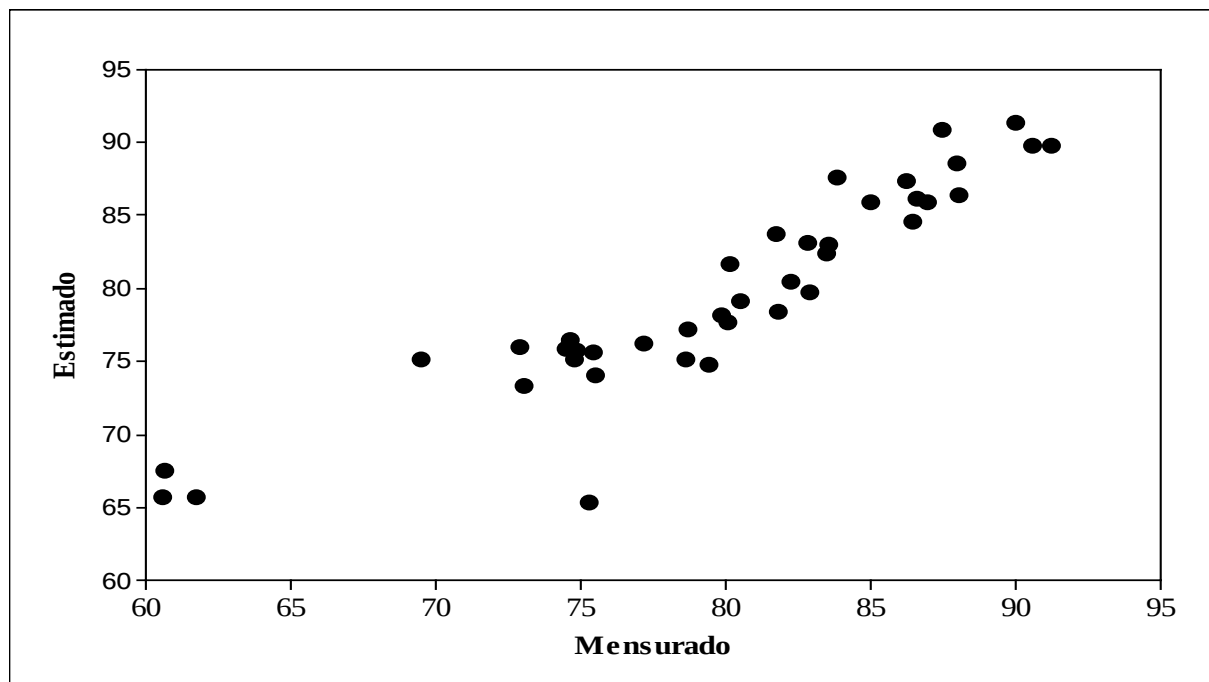


Figura 4. Dados de dispersão entre a Pureza estimada e mensurada utilizando a função $\% \text{ Pureza} = 79,717 - 0,038 \text{ Alt} + 1 + 1,440 \text{ N}^\circ \text{ de entrenós} - 0,928 \text{ Diâmetro de colmos} + 0,200 \text{ SPAD}$ para as variedades RB855156 e RB92579.

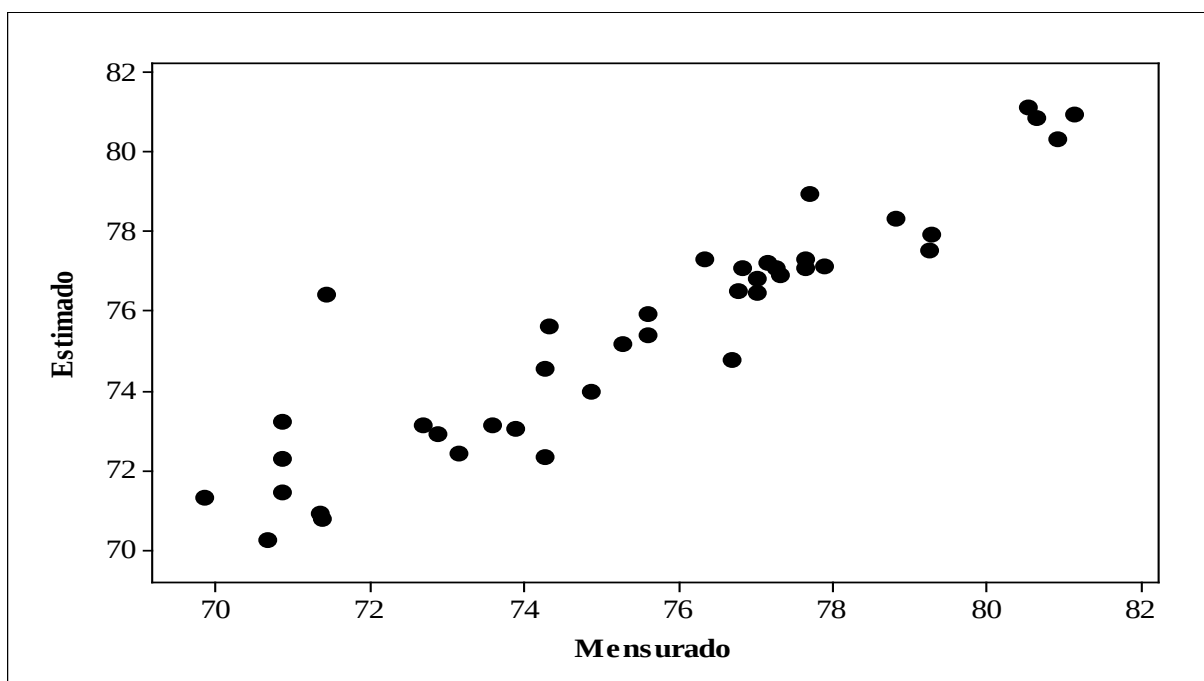


Figura 5. Dados de dispersão entre a Umidade estimada e mensurada utilizando a função $\%U \text{ Cana} = 83,311 + 0,020 \text{ Altura da folha} + 1 - 0,053 \text{ Comprimento da folha} + 3 - 0,647 \text{ N}^\circ \text{ de entrenós} + 0,256 \text{ Diâmetro de colmo}$ para as variedades RB855156 e RB92579.

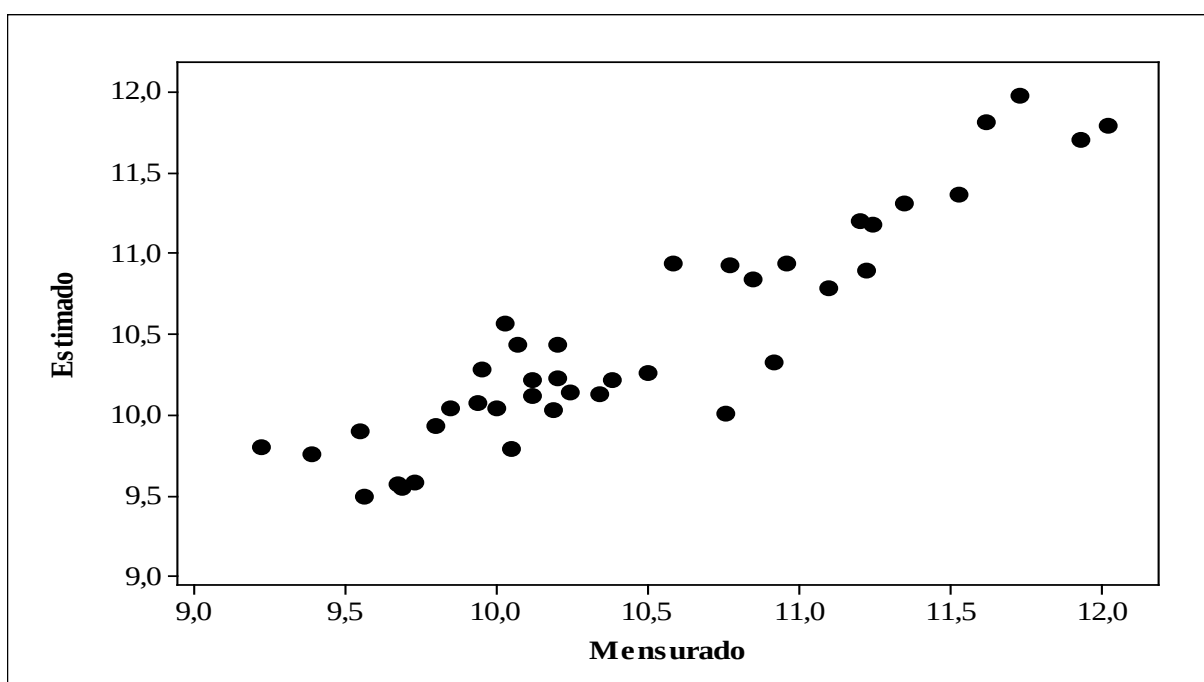


Figura 6. Dados de dispersão entre a Fibra estimada e mensurada utilizando a função $\% \text{ FIBRA} = 10,644 - 0,008 \text{ Altura da folha} + 1 + 0,008 \text{ Comprimento da folha} + 3 + 0,128 \text{ N}^\circ \text{ de entrenós} - 0,032 \text{ Diâmetro de colmos} - 0,059 \text{ N}^\circ \text{ de folhas verdes}$ para as variedades RB855156 e RB92579.

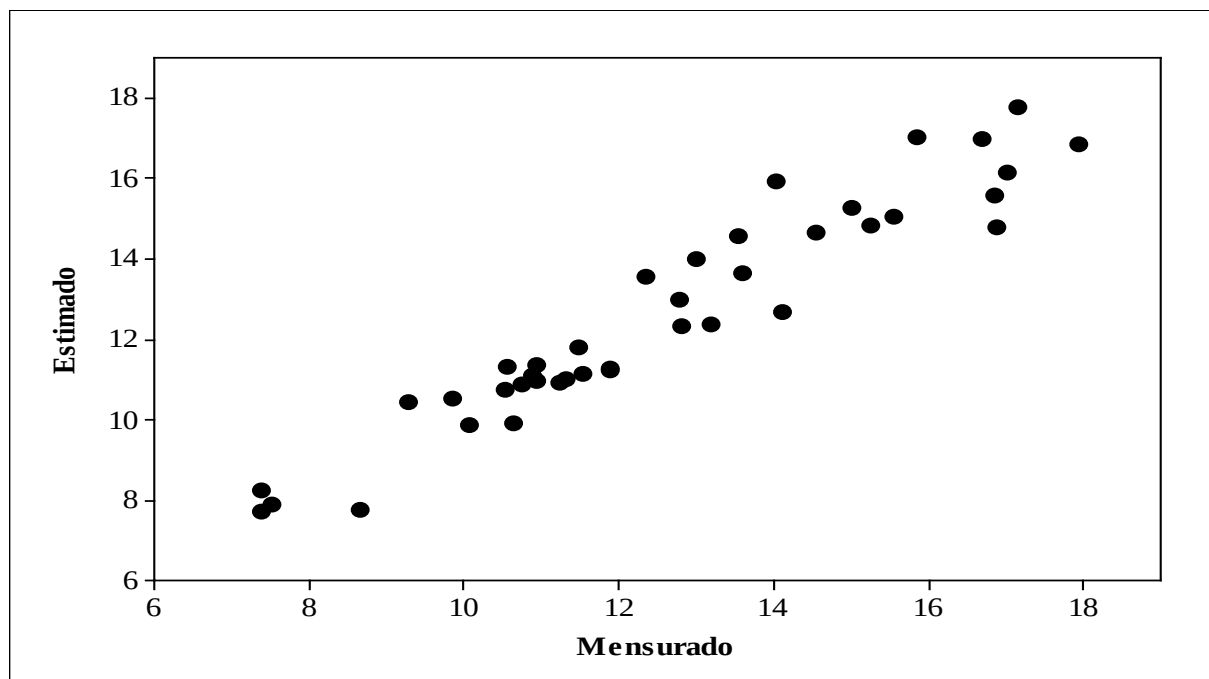


Figura 7. Dados de dispersão entre o ART estimado e mensurado utilizando a função $ART = 11,460 - 0,026 \text{ Altura da folha} + 1 + 0,033 \text{ Comprimento da folha} + 3 + 0,572 \text{ N}^\circ \text{ de entrenós} - 0,262 \text{ Diâmetro de colmos}$ para as variedades RB855156 e RB92579.

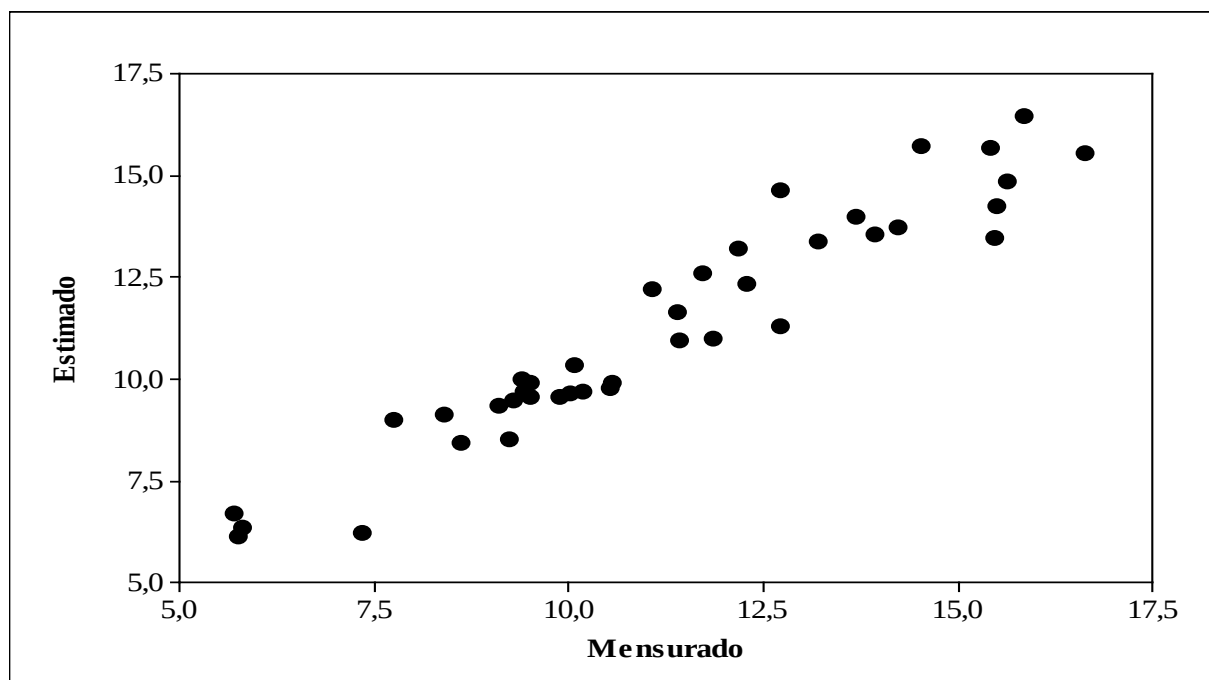


Figura 8. Dados de dispersão entre o PCC estimado e mensurado utilizando a função $\%PCC = 9,954 - 0,025 \text{ Altura da folha} + 1 + 0,034 \text{ Comprimento da folha} + 3 + 0,586 \text{ N}^\circ \text{ de entrenós} - 0,276 \text{ Diâmetro de colmos}$ para as variedades RB855156 e RB92579.

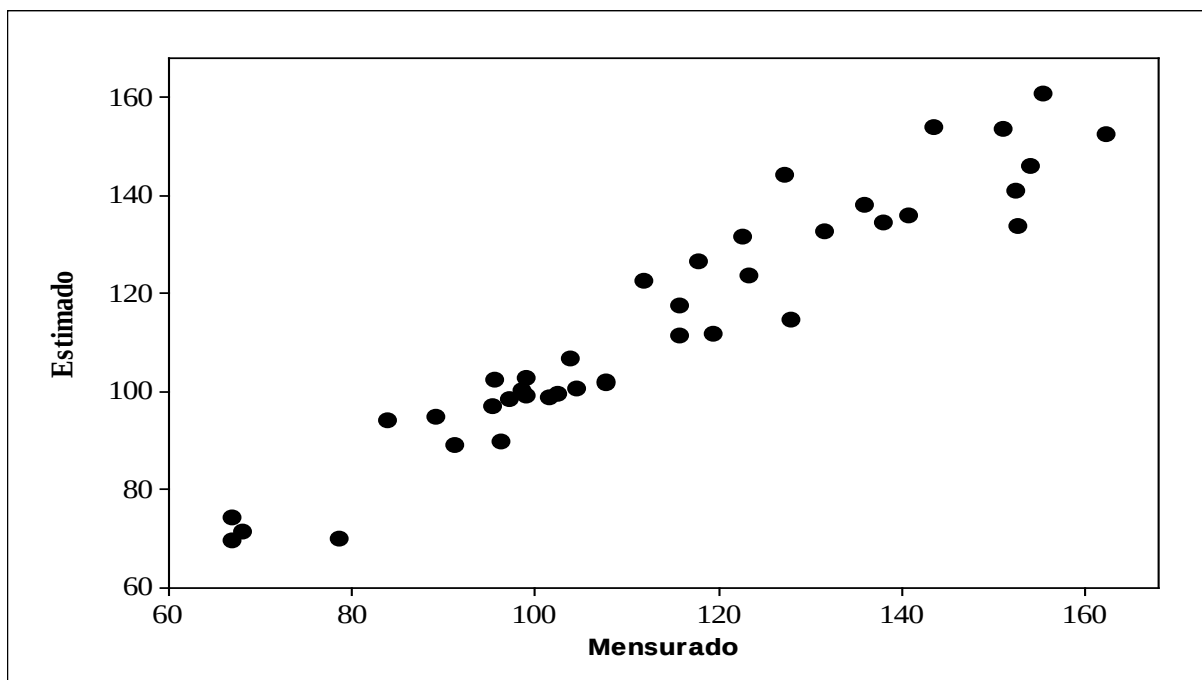


Figura 9. Dados de dispersão entre o ATR estimado e mensurado utilizando a função $\%ATR = 103,804 - 0,234$ Altura da folha+1 + 0,300 Comprimento da folha+3 + 5,180 N° de entrenós - 2,376 Diâmetro de colmos para as variedades RB855156 e RB92579.

5 CONCLUSÕES

As variáveis morfológicas largura da folha +3, área foliar, índice de área foliar, número de entrenós, as fisiológicas índice SPAD, teor de clorofila *a*, *b*, *a+b*, carotenoides e a atividade enzimática da SuSy no sentido quebra das reações, localizada no colmo, auxiliam na detecção da maturação das variedades de cana-de-açúcar RB855156 e RB92579.

As variáveis número de entrenós, diâmetro do colmo, altura de inserção da folha +1, comprimento da folha +3, índice SPAD e número de folhas verdes podem ser utilizadas para estimar, por meio de regressões múltiplas, as características tecnológicas Brix% caldo, pureza, umidade, ART, PCC e ATR durante a maturação da cana-de-açúcar.

6 REFERÊNCIAS

ABREU, J.B.R.; ALMEIDA, J.C.C.; MELLO, W.A.; PEREIRA, V.V.; FERREIRA, M.C.M.; MARQUES, R.A.F.S.; OLIVEIRA, A.J. Produção, características morfológicas e de maturação de cultivares de cana-de-açúcar com diferentes ciclos de amadurecimento para uso na alimentação animal na região de Barbacena/MG, Brasil. **Boletim de Indústria Animal**, v.64, n.2, p.115-121, 2007.

ALBERTSON, P.L.; PETERS, K.F.; GROF, C.P.L. An improved method for the measurement of cell wall invertase activity in sugarcane tissue. **Australian Journal of Plant**

Physiology, v. 28, p. 323-328, 2001.

ALEXANDER, A.G. **Sugarcane Physiology**. Elsevier, Amsterdam, Netherlands. 1973.

AMOR, Y., HAIGLER, C.H., JOHNSON, S.; WAINSCOTT, M.; DELMER, D.P. A membrane-associated form of sucrose synthase and its potential role in synthesis of cellulose and callose in plants. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 92, p. 9353– 9357, 1995.

APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. **Anatomia Vegetal**. Viçosa: Editora UFV. 2003. 438p.

ARNON, D.I. Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenoxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, v. 24, p. 1-15, 1949.

BATISTA, L.M.T. **Avaliação morfofisiológica da cana-de-açúcar sob diferentes regimes hídricos**. 2013, 89 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

BERTON, G.S.B. **Análise de crescimento e produtividade de sete clones de cana-de-açúcar, em cana-soca, cultivados no município de Paranavaí-PR**. 2014, 95 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

BLINKS, L. R.; The photosynthetic function of pigments other than chlorophyll. **Annual Review of Plant Physiology**, v 5: 93-114p. 1954.

BOARETTO, L.F. **Análise do transcriptoma e proteoma do colmo de cana-de-açúcar relacionada ao metabolismo da sacarose**. 2012, 178 p. Tese (Doutorado em Fisiologia e Bioquímica de plantas). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, São Paulo, 2012.

BONNET, G.D. Developmental Stages (Phenology). In **Sugarcane Physiology, Biochemistry and Functional Biology**. MOORE, P.H.; BOTHA, F.C. New Delhi, India: John Wiley Sons, 3, 35-50, 2014.

BORÉM, A.; SANTOS, F. Qualidade da cana-de-açúcar para processamento industrial. In: SANTOS, F.; BORÉM, A. **Cana-de-açúcar - Bioenergia, açúcar e etanol - Tecnologias e perspectivas**. Viçosa: UFV. 637p. 2011.

BOSCH, S.; GROF, C.P.L.; BOTHA, F.C. Expression of neutral invertases in sugarcane. **Plant Science**, v. 5, p. 1125-1133, 2004.

BRADFORD, M.M. A dye binding assay for protein. **Analytical Biochemistry**, v. 72, p. 248-254, 1976.

BRIEGER, F.O. Início da safra. Como determinar a maturação. **Boletim Informativo Coopereste**, v.4, número único, p.1-3, 1968.

BUCZYNSKI, S.R.; THOM, M.; CHOUREY, P.; MARETZKI, A. Tissue distribution and characterization of sucrose synthase isoenzymes in sugarcane. **Journal of Plant Physiology**,

v. 142, p. 641-646, 1993.

CAPUTO, M.M. **Indução da maturação por produtos químicos e sua consequência na qualidade tecnológica de diferentes genótipos de cana-de-açúcar.** 2006, 138p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, 2006.

CAPUTO, M.M.; BEAUCLAIR, E.G.F.; SILVA, M.A.; PIEDADE, S.M.S. Resposta de genótipos de cana-de-açúcar à aplicação de indutores de maturação. **Bragantia**, v.67, p.15-23, 2008.

CARDOZO, N.P. **Modelagem da maturação da cana-de-açúcar em função de variáveis meteorológicas.** 2012, 206 p. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, 2012.

CARMO, C.A.F. de S.; ARAUJO, W.S. de; BERNARDI, A.C. de C.; SALDANHA, M.F.C. **Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, (Circular Técnica, 6). 41p. 2000.

CESAR, L.E.V. **Divergência genética e caracterização de variedades de cana-de-açúcar para a produção de cachaça artesanal.** 2013, 112p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 2013.

CESAR, L.E.V. **Otimização do aproveitamento do palhicho da cana-de-açúcar.** 2013, 96p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 2013.

CESAR, M.A.A.; SILVA, F.C. **Pequenas indústrias da cana-de-açúcar: Melado, rapadura e açúcar mascavo.** Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Pequenasindustriasrurais_000ft7j8ao102wyiv80ukm0vf70megy1.pdf Acesso em 29 de maio de 2016.

CÓ JÚNIOR, C.; MARQUES, M.O.; TASSO JÚNIOR, L.C. Efeito residual de quatro aplicações anuais de lodo de esgoto e vinhaça na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v.28, n.1, p.196-203, 2008.

CRUSCIOL, C. A. C.; LEITE, G. H. P.; SIQUEIRA, G.F. Uso de maturadores com ou sem misturas. In: CRUSCIOL, C. A. C. **Tópicos em ecofisiologia da cana-de-açúcar.** Botucatu: FEPAF, 2010, 93-102.

CRUZ, L.P. **Caracterização do proteoma de entrenós maduros e imaturos de cana-de-açúcar durante o estágio de maturação.** Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) 2012, 173 p. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, 2012.

DATIR, S.; JOSHI, S. The contribution of sucrose metabolism enzymes to sucrose accumulation in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) genotypes. **Indian Journal of Plant Physiology**, v. 21, p.76–82, 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, SPI/CNPS, 1999. 412p.

FARIAS, C.H.A.; NETO, J.D.; FERNANDES, P.D.; GHEYI, H.R. Índice de área foliar em cana-de-açúcar sob diferentes níveis de irrigação e zinco na paraíba. **Revista Caatinga**, v. 20, n. 4, 45-55 p., 2007.

FERNANDES, A.C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. 2.ed. Piracicaba: STAB, 240p., 2003.

FERREIRA JUNIOR, R.A.; SOUZA, J.L.; LYRA, G.B.; TEODORO, I.; SANTOS, M.A.; PORFIRIO, A.C.S. Crescimento e fotossíntese de cana-de-açúcar em função de variáveis biométricas e meteorológicas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.11, p.1229–1236, 2012.

GALDIANO, L. C. **Qualidade da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) submetida à aplicação de maturadores químicos em final de safra**. 2008. 53 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

GARCIA, E.H.C. **Avaliação da fração de carboidratos solúveis em cana-de-açúcar para animais**. 2008, 119p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, 2008.

GASCHO, G.J. Water-sugarcane relationships. **Sugar Journal**, v.48, p.11-17, 1985.

GHANNOUM, O. C₄ photosynthesis and water stress. **Annals of Botany**, v.103, p.635-644, 2009.

GROF, C. P. L., ALBERTSON, P. L., BURSLE, J., PERROUX, J. M., BONNETT, G. D., AND MANNERS, J. M. Sucrosephosphate synthase, a biochemical marker of high sucrose accumulation in sugarcane. **Crop Science**, v.47, p.1530– 1539, 2007.

GROF, C.P.L.; CAMPBELL, J.A. Sugarcane sucrose metabolism: scope for molecular manipulation. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.28, p. 1-12, 2001.

HAIGLER, C.H.; IVANOVA-DATCHEVA, M.; HOGAN, P.S.; SALNIKOV, V.V.; HWANG, S.; MARTIN, L.K.; DELMER, D.P. Carbon partitioning to cellulose synthesis. **Plant Molecular Biology**, v.47, p. 29–51, 2001.

HEERDEN, P. D. R., DONALDSON, R. A.; WATT, D. A.; SINGELS, A. Biomass accumulation in sugarcane: Unravelling the factors underpinning reduced growth phenomena. **Journal of Experimental Botany**, v. 61, p. 2877–87, 2010.

HERMANN, E. R.; CÂMARA, G. M. S. Um método simples para estimar a área foliar da cana-de-açúcar. **STAB: Açúcar, Alcool e Subprodutos**, v.17, n.5, p.32-34, 1999.

HORII, J. A cana-de-açúcar como matéria-prima. **Visão Agrícola**, p.88-93, 2004.

HÖRTENSTEINER, S. Chlorophyll degradation during senescence. **Annual Review of Plant Biology**, v. 57, p.55–77, 2006.

HUBER, S.C.; HUBER, J.L. Role and regulation of sucrose phosphate synthase in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 47, p. 431-444, 1996.

INMAN-BAMBER, N.G.; SMITH, D.M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, v.92, p.185-202, 2005.

JANG, J.C.; LEON, P.; ZHOU, L.; SHEEN, J. Hexokinase as a sugar sensor in higher plants. **The Plant Cell**, v.9, p. 5-19, 1997.

KATZ, J.J.; SHIPMAN, L.L., COTTON, T.M.; JANSON, T.J. Chlorophyll aggregation: coordination interactions in chlorophyll monomers, dimers, and oligomers. In: DOLPHIN, D. **The Porphyrins**, p. 401–458. Academic Press: New York, 1978.

KOCH, K.E.; YING, Z.; WU, Y.; AVIGNE, W.T. Multiple paths of sugar-sensing and a sugar/oxygen overlap for gene sucrose and ethanol metabolism. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, p. 417-427, 2000.

LALONDE, S.; TEGEDER, M.; THRONE-HOLST, M.; FROMMER, W.B.; PATRICK, J.W. Phloem loading and unloading of sugar and aminoacids. **Plant, Cell and Environment**, v. 26, p. 37-56, 2003.

LANDELL, M.G.A.; BRESSIANI, J.A. Melhoramento genético, caracterização e manejo varietal. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONSELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, p.101-156, 2010.

LAZARINI, E. **Sistemas de detecção da maturação da cana de açúcar**. Disponível em: <http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/fitotecnia/tecnologiaidealimentos/esocioeconomics/a716/edsonlazarini/sistemas-de-maturacao-da-cana-de-acucar.pdf> Acesso em 16 de junho de 2016.

LEGENDRE, B.L. Ripening of sugarcane: effects of sunlight, temperature, and rainfall. **Crop Science**, v. 15, p. 349-352, 1975.

LEITE, M.H.S.; COUTO, E.G.; AMORIM, R.S.S.; COSTA, E.L.; MARASCHIN, L. Perdas de solo e nutrientes num Latossolo Vermelho-Amarelo ácrico típico, com diferentes sistemas de preparo e sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p.689-699, 2009.

LEME FILHO, J.R.A. **Estudo comparativo dos métodos de determinação e de estimativa dos teores de fibra e açúcares redutores em cana-de-açúcar**. 2005, 114 p. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, 2005.

LEME Jr., J.B.; BORGES, J.M. **Açúcar de cana**. Viçosa: Imprensa Universitária, 328p. 1970.

- LICHTENTHALER, H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigment photosynthetic biomembranes. **Methods Enzymology**, v.148, p. 362-385, 1987.
- LIM, P.O.; KIM H.J.; NAM, H.G. Leaf senescence. **Annual Review of Plant Biology**, v. 58, p.115-136, 2007.
- LIMA, A.D. **Otimização do aproveitamento do palhiço da cana-de-açúcar**. 2009, 93p. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2009.
- LISSON, S. N., ROBERTSON, M. J.; KEATING, B. A.; MUCHOW, R. C. Modelling sugarcane production systems: II: analysis of system performance and methodology issues. **Field Crops Research**, v. 68, p. 31–48, 2005.
- LOBO, A.K.M. **Modulação da fotossíntese por açúcares e deficiência hídrica em plantas de cana-de-açúcar**. 2012, 108p. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.
- LOPES, F.J.; SILVÉRIO, F.O.; BAFFA, D.C.; LOUREIRO, M.E.; BARBOSA, M.H. Determination of sugarcane bagasse lignin S/G/H ratio by pyrolysis GC/MS. **Journal of Wood Chemistry and Technology**, v.31, p.309–323, 2011.
- LUCCHESI, A. A. Fatores da produção vegetal. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, p. 1-11. 1987.
- LUNN J.E.; APREES, T. Apparent equilibrium constant and mass-action ratio for sucrose phosphate synthase in seeds of *Pisum sativum*. **Biochemical Journal**, v.267, p.739–743, 1990.
- MACHADO, E. C. **Um modelo matemático-fisiológico para simular o acúmulo de matéria-seca na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*)**. 1987, 115p. Dissertação (Mestrado em Agricultura). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 1981.
- MACHADO, R.S.; RIBEIRO, R.V.; MARCHIORI, P.E.R.; MACHADO, D.F.S.P.; MACHADO, E.C.; LANDELL, M.G. de A. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.1575-1582, 2009.
- MACKINNEY, G. Plant pigments. **Annual Review of Biochemistry**, v. 9, p.459-490, 1940.
- MARAFON, A.C. **Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar: Uma introdução ao procedimento prático**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2012. 29 p.
- MATILE, P.; HÖRTENSTEINER, S.; THOMAS, H. Chlorophyll degradation. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 50, p.67-95, 1999.
- McCORMICK, A.J. Regulation of photosynthesis by sugars in sugarcane leaves. **Journal of Plant Physiology**, v.165, p.1817–1829, 2008.

MCCORMICK, A.J.; WATT, D.A.; CRAMER, M.D. Culm sucrose accumulation promotes physiological decline of mature leaves in ripening sugarcane. **Field Crops Research**, v.108, p.250–258, 2009.

MESCHEDE, D.K. **Efeito do glyphosate e sulfometuron-metil na fisiologia da cana-de-açúcar**. 2009, 89p. Tese (Doutorado em Agronomia), Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2009.

MOORE, P.H. Temporal and spatial regulation of sucrose accumulation in the sugarcane stem. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 22, p. 661-679, 1995.

MOORE, P.H.; COSGROVE, D.J. Developmental changes in cell and tissue water relation parameters in storage parenchyma of sugarcane. **Plant Physiology**, v. 96, p. 794-801, 1991.

MORAN, R. Formulae for determination of chlorophyllous pigments extracted with N,N-dimethylformamide. **Plant Physiology**, v.69, p.1376-1381, 1982.

MURAD, N.F. **Redes de regulação gênica do metabolismo de sacarose em cana-de-açúcar utilizando redes bayesianas**. 2013, 112p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2013.

MUTTON, M. J. R.; MUTTON, M. A. **Aguardente de cana: produção e qualidade**. Jaboticabal: Funep, 1992. 171 p.

NELSON, N. A photometric adaptation of the Somogy method for the determination of glucose. **Journal of Biological Chemistry**, v.153, n. 3, p. 375-379, 1944.

OETTERER, M. **Mono e dissacarídeos: propriedade dos açúcares**. Disponível em:<http://www.esalq.usp.br/departamentos/lan/pdf/Mono%20e%20Dissacarídeos%20-%20Propriedades%20dos%20Acucares.pdf> Acesso em 06 de julho de 2016.

OLIVEIRA, M.D.S.; TOSI, H.; SAMPAIO, A.A.M. Avaliação de duas variedades de cana-de-açúcar submetidas a diferentes tempos de armazenamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.8, p.1435-1442, 1999.

PATRICK, J.,W.; BOTHA, F.; C.; BIRCH, R., G. Metabolic engineering of sugars and simple sugar derivatives in plants. **Plant Biotechnology Journal**, v. 11, p.142-156, 2013.

PEDROZO,C.A.; BENIDES, F.R.G.; BARBOSA, M.H.P.; RESENDE, M.D.V.; SILVA, F.L. Eficiência de Índices de seleção utilizando a meteorologia REML/BLUP no melhoramento de cana-de-açúcar. **Scientia Agraria**, v. 10, n. 1, p. 31-36, 2009.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: Edur, 2004. 191p.

PINCELLI, R.P.; SILVA, M.A. Alterações morfológicas foliares em cultivares de cana-de-açúcar em resposta à deficiência hídrica. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 4, p. 546-556, 2012.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. **Boletim Técnico Instituto Agrônomo**. IAC, Campinas, IAC, v. 81, 31p., 1983.

REDE INTERUNIVERSITÁRIA PARA DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO (RIDESA). **Catálogo nacional de variedades “RB” de cana-de-açúcar**. Curitiba: Rede Interuniversitária para Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro, 80p. 2010.

RIBEIRO, C. **Análise de expressão gênica e metabolismo primário em cana-de-açúcar: sinalização de açúcares**. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, São Paulo, 2012.

RIBEIRO, R.V.; MACHADO, R.S.; MACHADO, E.C.; MACHADO, D.F.S.P.; MAGALHÃES FILHO, J.R.; LANDELL, M.G.A. Revealing drought-resistance and productive patterns in sugarcane genotypes by evaluating both physiological responses and stalk yield. **Experimental Agriculture**, v.49, p. 212-224, 2013.

ROBERTSON, M.J.; MUCHOW, R.C.; DONALDSON, R.A.; INMAN-BAMBER, N.G.; WOOD, A.W. Estimating the risk associated with drying-off strategies for irrigated sugarcane before harvest. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 50, p.65-77. 1999.

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

ROLLAND, N.; CURRIEN, G.; FINAZZI, G.; KUNTZ, M.; MARÉCHAL, E.; MATRINGE, M.; RAVANEL, S.; SEIGNEURIN- BERNY, D. The biosynthetic capacities of the plastids and integration between cytoplasmic and chloroplast processes. **Annual Review of Genetics**, v. 46, p. 85- 102, 2012.

ROSE, S.; BOTHA, F.C. Distribution patterns of neutral invertase and sugar content in sugarcane internodal tissues. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 38, p. 819-824, 2000.

RUAN, Y.L. JIN, Y.; HUANG, J. Capping invertase activity by its inhibitor: Roles and implications in sugar signaling, carbon allocation, senescence an evolution. **Plant Signaling Behavior**, v.4, p. 983-995, 2009.

SALERNO G, CURATTI L Origin of sucrose metabolism in higher plants: when, how 20 and why? **Trends in Plant Science**, v.8, p.63-69, 2003.

SALES, C.R.G.; RIBEIRO, R.V.; MACHADO, D.F.S.P.; MACHADO, R.S.; DOVIS, V.L.; LAGÔA, A.M.M.A. Trocas gasosas e balanço de carboidratos em plantas de cana-de-açúcar sob condições de estresses radiculares. **Bragantia**, v.71, p.319-327, 2012.

SALES, L.R. **Seleção de cultivares de cana-de-açúcar potenciais para a produção de cachaça artesanal**. 2013. 59 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Universidade Federal Lavras, Lavras, Minas Gerais, 2013.

SALLA, L.; RODRIGUES, J. C.; MARENOS, R. A. Teores de clorofila em árvores tropicais determinados com SPAD-502. **Revista Brasileira de Biociências**, v.5, p.32-161, 2007.

SAUER, N. Molecular physiology of higher plant sucrose transporters. **FEBS LETTERS**, v.581, p.2309- 2317, 2007.

SCHÄFER, W.E.; ROHWER, J.M.; BOTHA, F.C. Protein-level expression and localization of sucrose synthase in the sugarcane culm. **Physiologia Plantarum**, v. 121, p. 187-195, 2004.

SCHAFER, W.E.; ROHWER, J.M.; BOTHA, F.C. A kinetic study of sugarcane sucrose synthase. **European Journal of Biochemistry**, v.271, p.3971-3977. 2004.

SEGATO, S.V.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. **Atualização em produção da cana-de-açúcar**. 2.ed. PROL: Piracicaba, 2006. 415p.

SERRA, G.E.; CESAR, M.A.A.; OLIVEIRA, A.J.; GODOY, D. Comportamento de variedades de cana-de-açúcar no período de industrialização. **Brasil Açucareiro**, v.79, n.4, p.27-40, 1972.

SERRATO, A. J., BARAJAS-LOPEZ, J. D., CHUECA, A.; SAHRAWY, M. Changing sugar partitioning in FBPase-manipulated plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, p.2923-2931, 2009.

SILVA, M.A. **Época de amostragem na seleção e qualidade tecnológica de clones de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 1996. 159p. Tese (Doutorado em Agronomia)- Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Botucatu, 1996.

SILVA, M.A.; CAPUTO, M.M. Ripening and the Use of Ripeners for Better Sugarcane Management, Crop Management, In: MARIN, F. **Cases and Tools for Higher Yield and Sustainability**, InTech, Available from: <<http://www.intechopen.com/books/cropmanagement->>, 2012.

SILVA, M.A.; SANTOS, C.M.; VITORINO, H. dos S.; RHEIN, A.F.L. Pigmentos fotossintéticos e índice SPAD como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 1, p. 173-181, 2014.

SILVA, P.A.M.; PEREIRA, G.M.; REIS, R.P.; LIMA, L.A.; TAVEIRA, J.H.S. Função de resposta da alface americana aos níveis de água e adubação. **Ciência Agrotécnica**, v. 32, p. 1266-1271, 2008.

SOARES, J.S.M. **Caracterização estrutural e funcional da proteína udp-glucose pirofosforilase envolvida na biossíntese e acúmulo de sacarose em cana de açúcar**. 2013, 112 p. Tese (Doutorado em Biologia). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

SOMOGY, M. Determination of blood sugar. **Journal of Biological Chemistry**, n. 160, p. 69 - 73, 1945.

SOUZA R.T.X.; KORNDÖRFER, G.H. Efeito da aplicação de fertilizantes fosfatados na produtividade da cana-de-açúcar. **Enciclopédia Biosfera**, v.7, p.12, 2011.

SOUZA, A.C.M.; SOUZA, Z.M.; BARBOSA, L.C.; SANTOS, A.P.G.; VIEIRA, C.V. Qualidade industrial, biométrica e produtividade da cultura da cana-de-açúcar sob diferentes espaçamentos e uso de piloto automático. In: XLIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA – CONBEA 2014, Campo Grande- MS, Brasil. **Anais...** Campo Grande, 2014.

STANGE, L. Plant cell differentiation. **Annual Review of Plant Physiology**. v. 16:119-140p. 1965.

STEINLE, L.A. **Fatores que interferem na fermentação alcoólica**. 2013, 58p., Monografia (Especialização em Gestão do setor Sucroenergético). Universidade Federal de São Carlos, Sertãozinho, 2013.

STRUM, A.; CHRISPEELS, M.J. cDNA cloning of carrot extracellular b-fructosidase and its expression in response to wounding and bacteril infection. **Plant Cell**, v.2, p. 1107-1119, 1990.

STUPIELLO, J. P. A cana-de-açúcar como matéria-prima. In: PARANHOS, S. B., **Cana-de-açúcar: Cultivo e Utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 2, cap. 7, p. 759-804.

STUPIELLO, J.P. Pontas de cana: problema industrial. **STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.18, p.12, 2000.

SUGAWARA, L. M.; ADAMI, M.; RUDORFF, B. F.; FARIA, V. G. C. Avaliação de três métodos de estimativa de índice de área foliar aplicados à cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR). 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009.

SUNG, S.J.; XU, D.P.; BLACK, C.C. Identification of activity filling sucrose sink. **Plant Physiology**, Collingwood, v. 89, p. 1117-1121, 1989.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. 6th ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2013. 789p.

TAVARES, S.R.L.; AMARAL, F.C.S. Determinação do teor de fibra de cana-de-açúcar em diferentes biomas visando o processamento de resíduos para a produção de biocombustíveis sólidos e biomassa energética. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/busca-de-publicacoes/-/publicacao/996817/determinacao-do-teor-de-fibra-de-cana-de-acucar-em-diferentes-biomas-visando-o-processamento-de-residuos-para-a-producao-de-biocombustiveis-solidos-e-biomassa-energetica> Acesso em 06 de julho de 2016.

TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; BUZETTI, S.; GARCIA, C.M.P.; BENETT, C.G.S.; RODRIGUES, M.A.C.; MAESTRELO, P.R.; CELESTINO, T.S.; GAZOLA, R.N. Qualidade tecnológica e produtividade agroindustrial de cana-de-açúcar submetida a adubação com zinco. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 4, p. 1603-1614, 2013.

TEIXEIRA, E.B.; BOLONHEZI, A.C.; FERNANDES, F.M.; RIBEIRO, N.A.; QUEIROZ, C.J. Características tecnológicas do caldo de variedades de cana-de-açúcar cultivadas em solo de cerrado com diferentes níveis de adubação fosfatada. **Científica**, v.44, n.1, p.23-34, 2016.

TERUEL, D. A.; BARBIERE, V.; FERRARO JÚNIOR, L. A. Sugarcane leaf area index modeling under different soil water conditions. **Scientia Agricola**, v.54, n. spe, p.93 - 44, 1997.

THOMAS, H.; STODDART, J.L. Leaf senescence. **Annual Review Plant Physiology**, v.31, p.83-111, 1980.

TIRONI, S.P.; GALON, L.; FARIAS, A.T.; SILVA, A.A.; BARBOSA, M.H.P. Produtividade e qualidade da matéria prima de cultivares de cana-de-açúcar submetida à aplicação de herbicidas. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.11, n.1, p.32-41, 2012.

Van DILLEWIJN, C. **Botany of Sugarcane**. The Chronica Botanica Co, Waltham, 1952. 371p.

VATTUONE, M.A.; PRADO, F.E.; SAMPIETRO, A.R. Cell wall invertases from sugarcane. **Phytochemistry**, v. 20, p. 189-191, 1981.

VIANA, R.S. **Efeitos de maturadores químicos aplicados em início de safra na produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar**. 2011, 82 p. Tese (Doutorado em Agronomia), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”. Botucatu, 2011.

VILELLA, R.D. **Alterações fisiológicas e bioquímicas de duas variedades de cana-de-açúcar sob estresse hídrico**. 2011, 104p. Dissertação (mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, AL, 2011.

WALSH, K.B.; SKY, R.C.; BROW, S.M. The anatomy of the pathway of sucrose unloading within the sugarcane stalk. **Functional Plant Biology**, Collingwood, v. 32, p. 367-374, 2005.

WATSON, D. J. Comparative physiological studies on growth of field crops: I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. **Annals of Botany**, London, v. 11, p. 41-76, 1947.

WEBER, H. AND ROISTCH, T., Invertases and life beyond cleavage. **Trends Plant Science**, v. 5, p. 47–48, 2000.

WIND, J.; SMEEKENS, S.; HANSON, J. Sucrose: metabolite and signaling molecule. **Phytochemistry**, v. 71, p. 1610-1614, 2010.

WINTER, H.; HUBER, S.C. Regulation of sucrose metabolism in higher plants: localization and regulation of activity of key enzymes. **Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology**, v.35, p. 253-289, 2000.

YADAVA, U.L. A rapid nondestructive method to determine chlorophyll in intact leaves. **HortScience**, v. 21, p.1449-1450, 1986.

ZHU, J.K.; HASEGAWA, P.M.; BRESSAN, R.A. Molecular aspects of osmotic stress in plants. CRC. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.16, p. 253–277, 1997.

APÊNDICE – 1 A. Coeficiente de correlação (r) entre as variáveis tecnológicas com as análises morfológicas, enzimáticas e fisiológicas da variedade RB855156.

(continua)

	% BRIX	PCC	ATR	FIBRA	PUREZA	ART	U%CANA	Nº de perf	Nº de folhas	Altura +1	Comp. +3	Largura +3	AF	IAF
PCC	0,994													
ATR	0,996	1,000												
FIBRA	0,850	0,873	0,870											
PUREZA	0,946	0,973	0,970	0,879										
ART	0,996	1,000	1,000	0,870	0,970									
U%CANA	-0,990	-0,992	-0,992	-0,916	-0,956	-0,992								
Nº de perf	0,244	0,279	0,276	0,295	0,311	0,276	-0,265							
Nº de folhas	-0,624	-0,643	-0,642	-0,811	-0,622	-0,642	0,693	-0,215						
Altura +1	0,341	0,334	0,331	0,323	0,361	0,331	-0,347	-0,182	-0,191					
Comprimento +3	-0,782	-0,808	-0,805	-0,845	-0,819	-0,805	0,823	-0,401	0,623	-0,202				
Largura +3	-0,568	-0,613	-0,607	-0,705	-0,678	-0,607	0,622	-0,169	0,757	-0,393	0,503			
AF	-0,779	-0,814	-0,809	-0,863	-0,852	-0,809	0,825	-0,380	0,771	-0,344	0,791	0,868		
IAF	-0,779	-0,814	-0,809	-0,863	-0,852	-0,809	0,825	-0,380	0,771	-0,344	0,791	0,868	1,000	
Nº de entrenos	0,866	0,888	0,885	0,915	0,904	0,885	-0,906	0,129	-0,744	0,440	-0,862	-0,728	-0,893	-0,893
Diametro colmos	0,238	0,249	0,250	0,392	0,216	0,250	-0,286	-0,066	-0,718	0,063	-0,310	-0,387	-0,400	-0,400
Compentreno	0,160	0,164	0,165	0,235	0,137	0,165	-0,185	-0,238	-0,365	-0,116	0,004	-0,300	-0,123	-0,123
PF folha	-0,377	-0,322	-0,326	-0,167	-0,253	-0,327	0,332	0,254	0,121	-0,620	-0,102	0,211	0,129	0,129
PF colmo	0,276	0,233	0,239	0,111	0,137	0,239	-0,240	-0,412	-0,058	0,078	0,102	-0,185	-0,105	-0,105
PS folha	0,053	0,105	0,101	0,250	0,147	0,101	-0,107	0,357	-0,234	-0,511	-0,457	-0,093	-0,246	-0,246
PS colmo	0,511	0,454	0,461	0,419	0,331	0,461	-0,502	-0,341	-0,383	0,336	-0,145	-0,221	-0,274	-0,274
IVA FOLHA	0,120	0,098	0,099	-0,050	0,075	0,099	-0,077	-0,148	-0,020	0,408	0,271	-0,114	-0,041	-0,041
IVA COLMO	-0,650	-0,650	-0,648	-0,689	-0,662	-0,648	0,681	0,037	0,349	-0,301	0,581	0,229	0,376	0,376
IVN FOLHA	0,192	0,101	0,113	-0,035	-0,086	0,113	-0,137	-0,195	0,099	-0,117	0,043	0,433	0,219	0,219
IVN COLMO	-0,388	-0,383	-0,386	-0,380	-0,320	-0,386	0,397	-0,184	0,553	0,192	0,459	0,435	0,561	0,561
Susy S FOLHA	-0,199	-0,206	-0,207	-0,119	-0,191	-0,207	0,183	0,063	0,353	-0,237	0,026	0,301	0,106	0,106
Susy S COLMO	-0,259	-0,279	-0,278	-0,452	-0,261	-0,278	0,318	-0,374	0,431	0,466	0,386	0,167	0,338	0,338
Susy Q FOLHA	-0,379	-0,349	-0,350	-0,316	-0,319	-0,350	0,374	-0,018	0,203	-0,609	0,108	0,365	0,336	0,336
Susy Q COLMO	-0,711	-0,727	-0,723	-0,695	-0,764	-0,723	0,728	0,140	0,447	-0,532	0,551	0,577	0,670	0,670
SPS FOLHA	0,184	0,202	0,199	0,101	0,239	0,198	-0,166	0,261	-0,086	0,329	-0,141	-0,115	-0,198	-0,198
SPS Colmo	-0,257	-0,275	-0,274	-0,255	-0,292	-0,274	0,264	0,040	0,608	-0,242	0,118	0,624	0,375	0,375
SPAD	-0,701	-0,702	-0,703	-0,784	-0,670	-0,703	0,745	-0,207	0,579	-0,147	0,890	0,378	0,644	0,644
NDVI	-0,042	-0,019	-0,020	0,099	-0,019	-0,020	0,007	0,035	-0,521	-0,070	0,151	-0,424	-0,235	-0,235
Chlor <i>a</i>	-0,842	-0,840	-0,839	-0,767	-0,844	-0,839	0,847	-0,055	0,516	-0,594	0,604	0,711	0,759	0,759
Chlor <i>b</i>	-0,837	-0,841	-0,839	-0,834	-0,852	-0,839	0,861	-0,154	0,611	-0,522	0,647	0,734	0,818	0,818
Chlor <i>a + b</i>	-0,849	-0,849	-0,847	-0,792	-0,855	-0,847	0,860	-0,081	0,546	-0,582	0,621	0,724	0,782	0,782

APÊNDICE – 1 A. Coeficiente de correlação (r) entre as variáveis tecnológicas com as análises morfológicas, enzimáticas e fisiológicas da variedade RB855156.

	(conclusão)													
	% BRIX	PCC	ATR	FIBRA	PUREZA	ART	U%CANA	Nº de perf	Nº de folhas	Altura +1	Comp. +3	Largura +3	AF	IAF
Carotenoides	-0,842	-0,836	-0,835	-0,748	-0,835	-0,835	0,842	-0,074	0,453	-0,612	0,614	0,652	0,734	0,734
Chlor <i>a/b</i>	0,014	0,028	0,027	0,254	0,035	0,027	-0,079	0,040	-0,399	-0,125	-0,133	-0,129	-0,208	-0,208
PBU	0,850	0,873	0,870	1,000	0,879	0,870	-0,916	0,294	-0,810	0,325	-0,845	-0,705	-0,863	-0,863
POL % CE	0,992	0,999	0,999	0,888	0,974	0,999	-0,994	0,284	-0,661	0,331	-0,818	-0,623	-0,823	-0,823
BRIX	0,999	0,996	0,997	0,874	0,951	0,997	-0,996	0,253	-0,651	0,339	-0,799	-0,586	-0,795	-0,795
AR	-0,945	-0,973	-0,969	-0,890	-1,000	-0,969	0,959	-0,308	0,631	-0,363	0,825	0,680	0,854	0,854
N	-0,395	-0,438	-0,434	-0,449	-0,468	-0,434	0,421	-0,454	0,456	0,178	0,587	0,273	0,386	0,386
P	0,177	0,112	0,118	0,039	0,018	0,119	-0,145	-0,194	0,070	0,469	0,215	0,041	0,055	0,055
K	-0,719	-0,735	-0,735	-0,847	-0,705	-0,735	0,776	-0,164	0,885	-0,202	0,759	0,651	0,765	0,765
Ca	-0,198	-0,148	-0,156	-0,163	-0,025	-0,156	0,195	0,099	0,094	0,154	0,199	-0,376	-0,098	-0,098
Mg	0,653	0,642	0,645	0,708	0,570	0,645	-0,688	0,041	-0,790	0,242	-0,557	-0,438	-0,567	-0,567
Fe	0,177	0,112	0,118	0,039	0,018	0,119	-0,145	-0,194	0,070	0,469	0,215	0,041	0,055	0,055
S	0,609	0,628	0,626	0,648	0,649	0,626	-0,638	0,342	-0,660	0,411	-0,409	-0,742	-0,669	-0,669
B	0,195	0,149	0,156	0,275	0,044	0,156	-0,222	-0,069	-0,463	0,153	0,069	-0,187	-0,139	-0,139

APÊNDICE – 1 B. Coeficiente de correlação (r) entre as variáveis tecnológicas com as análises morfológicas, enzimáticas e fisiológicas da variedade RB855156.

	Nº de entrenos	Diametro colmos	Comp. entreno	PF folha	PF colmo	PS folha	PS colmo	IVA Folha	IVA Colmo	IVN Folha	IVN Colmo
Diametro colmos	0,448										
Compentreno	0,134	0,378									
PF folha	-0,192	0,054	-0,199								
PF colmo	0,179	0,026	0,146	-0,425							
PS folha	0,224	0,233	-0,123	0,884	0,019						
PS colmo	0,433	0,435	0,275	-0,624	0,271	-0,041					
IVA FOLHA	0,010	-0,028	-0,049	-0,523	0,007	-0,303	0,380				
IVA COLMO	-0,647	-0,071	-0,107	0,271	0,217	0,134	-0,345	0,077			
IVN FOLHA	-0,062	-0,038	-0,019	-0,347	0,216	0,227	0,698	0,185	-0,185		
IVN COLMO	-0,468	-0,536	-0,215	-0,060	-0,513	-0,001	-0,003	0,224	-0,085	-0,211	
Susy S FOLHA	-0,157	-0,403	-0,164	0,164	-0,045	0,118	-0,001	-0,033	0,019	0,162	0,097
Susy S COLMO	-0,311	-0,434	-0,282	-0,429	0,204	0,081	-0,202	0,217	0,289	-0,071	0,338
Susy Q FOLHA	-0,318	0,047	0,112	0,611	-0,291	0,212	-0,468	-0,346	0,238	-0,015	-0,105
Susy Q COLMO	-0,775	-0,237	-0,174	0,320	-0,428	-0,071	-0,463	-0,199	0,572	0,117	0,101
SPS FOLHA	0,220	0,185	-0,244	-0,051	-0,051	-0,033	-0,231	0,488	-0,042	0,017	-0,091
SPS Colmo	-0,313	-0,357	-0,286	0,317	-0,066	-0,585	0,321	-0,130	-0,012	0,380	0,239
SPAD	-0,769	-0,308	-0,096	-0,030	0,123	-0,533	0,114	0,425	0,626	-0,070	0,395
NDVI	0,050	0,558	0,449	0,008	-0,328	-0,239	-0,178	0,378	0,362	-0,311	-0,192
Chlor <i>a</i>	-0,824	-0,061	-0,026	0,544	-0,195	-0,056	-0,426	-0,213	0,648	-0,025	0,228
Chlor <i>b</i>	-0,849	-0,152	-0,039	0,479	-0,155	-0,111	-0,467	-0,214	0,691	-0,062	0,290
Chlor <i>a + b</i>	-0,839	-0,085	-0,030	0,533	-0,186	-0,072	-0,442	-0,216	0,666	-0,035	0,246
Carotenoides	-0,809	-0,009	0,016	0,555	-0,235	0,126	-0,545	-0,217	0,661	-0,098	0,229
Chlor <i>a/b</i>	0,202	0,510	0,125	0,218	-0,099	0,344	0,312	-0,002	-0,207	0,110	-0,228
PBU	0,915	0,391	0,233	-0,168	0,160	-0,074	-0,097	-0,051	-0,690	-0,035	-0,378
POL % CE	0,896	0,263	0,172	-0,309	0,068	0,176	0,265	0,086	-0,655	0,092	-0,388
BRIX	0,881	0,258	0,172	-0,357	0,071	0,159	0,335	0,102	-0,660	0,173	-0,394
AR	-0,910	-0,223	-0,142	0,249	-0,071	-0,096	-0,185	-0,074	0,670	0,082	0,320
N	-0,374	-0,109	-0,123	-0,370	0,090	-0,183	-0,026	0,178	0,193	0,220	0,226
P	0,048	-0,170	-0,104	-0,760	-0,199	0,221	-0,270	0,557	-0,173	0,547	0,076
K	-0,848	-0,735	-0,314	0,038	0,125	-0,481	-0,701	0,213	0,472	0,008	0,638
Ca	-0,146	-0,346	0,145	-0,066	-0,159	-0,283	-0,716	0,187	0,383	-0,667	0,198
Mg	0,713	0,773	0,250	-0,239	-0,064	0,512	0,680	0,105	-0,491	0,284	-0,534
Fe	0,048	-0,170	-0,104	-0,760	-0,199	0,221	-0,270	0,557	-0,173	0,547	0,076
S	0,547	0,166	0,389	-0,471	-0,302	-0,315	-0,102	0,134	-0,304	-0,207	-0,263
B	0,146	0,278	0,252	-0,494	0,358	-0,419	0,428	0,483	-0,067	0,460	-0,246

APÊNDICE – 1 C. Coeficiente de correlação (r) entre as variáveis tecnológicas com as análises morfológicas, enzimáticas e fisiológicas da variedade RB855156.

	Susy S Folha	Susy S Colmo	Susy Q Folha	Susy Q Colmo	SPS Folha	SPS Colmo	SPAD	NDVI	Chlor <i>a</i>	Chlor <i>b</i>	Chlor <i>a + b</i>	Carotenoides	Chlor <i>a/b</i>
Susy S COLMO	-0,176												
Susy Q FOLHA	0,045	-0,083											
Susy Q COLMO	0,152	0,147	0,551										
SPS FOLHA	-0,251	-0,080	-0,154	-0,201									
SPS Colmo	0,469	-0,211	0,203	0,147	0,092								
SPAD	-0,104	0,401	0,174	0,493	0,208	0,121							
NDVI	-0,269	-0,271	-0,050	-0,067	0,064	-0,521	0,186						
Chlor <i>a</i>	0,167	0,029	0,650	0,779	-0,172	0,331	0,545	0,100					
Chlor <i>b</i>	0,101	0,151	0,494	0,682	-0,174	0,304	0,567	0,061	0,946				
Chlor <i>a + b</i>	0,152	0,061	0,617	0,762	-0,174	0,328	0,556	0,091	0,997	0,970			
Carotenoides	0,122	-0,001	0,611	0,738	-0,217	0,240	0,535	0,204	0,988	0,949	0,988		
Chlor <i>a/b</i>	0,058	-0,452	0,423	0,107	0,022	0,023	-0,140	0,248	0,112	-0,178	0,039	0,099	
PBU	-0,118	-0,451	-0,318	-0,695	0,099	-0,256	-0,785	0,097	-0,768	-0,835	-0,793	-0,748	0,254
POL % CE	-0,203	-0,295	-0,346	-0,729	0,195	-0,277	-0,715	-0,009	-0,839	-0,844	-0,849	-0,833	0,044
BRIX	-0,196	-0,283	-0,374	-0,717	0,176	-0,261	-0,719	-0,027	-0,842	-0,843	-0,851	-0,840	0,036
AR	0,185	0,271	0,315	0,765	-0,237	0,286	0,678	0,015	0,845	0,856	0,856	0,836	-0,048
N	0,269	0,302	-0,242	0,188	-0,196	0,248	0,384	-0,185	0,134	0,139	0,136	0,104	0,003
P	0,125	0,265	-0,533	-0,059	0,218	0,058	0,162	-0,160	-0,366	-0,346	-0,365	-0,421	-0,106
K	0,396	0,461	0,122	0,532	-0,124	0,376	0,727	-0,236	0,554	0,613	0,574	0,519	-0,355
Ca	-0,071	0,401	-0,070	0,010	-0,056	-0,400	0,350	0,324	-0,028	0,051	-0,008	0,013	-0,379
Mg	-0,294	-0,455	-0,232	-0,463	0,319	-0,282	-0,549	0,233	-0,490	-0,565	-0,514	-0,473	0,396
Fe	0,125	0,265	-0,533	-0,059	0,218	0,058	0,162	-0,160	-0,366	-0,346	-0,365	-0,421	-0,106
S	-0,276	0,008	-0,331	-0,368	0,083	-0,627	-0,309	0,248	-0,614	-0,667	-0,634	-0,597	0,069
B	-0,118	-0,124	-0,307	-0,076	0,151	-0,226	0,038	0,455	-0,221	-0,264	-0,234	-0,199	0,181

APÊNDICE – 1 D. Coeficiente de correlação (r) entre as variáveis tecnológicas com as análises morfológicas, enzimáticas e fisiológicas da variedade RB855156.

	PBU	POL % CE	BRIX	AR	N	P	K	Ca	Mg	Fe	S
PBU											
POL % CE	0,888										
BRIX	0,875	0,995									
AR	-0,890	-0,975	-0,951								
N	-0,448	-0,445	-0,408	0,471							
P	0,039	0,104	0,162	-0,022	0,531						
K	-0,847	-0,751	-0,742	0,714	0,423	0,103					
Ca	-0,164	-0,152	-0,199	0,032	-0,169	-0,195	0,322				
Mg	0,708	0,652	0,668	-0,579	-0,175	0,216	-0,853	-0,568			
Fe	0,039	0,104	0,162	-0,022	0,531	1,000	0,103	-0,195	0,216		
S	0,648	0,634	0,619	-0,648	-0,317	0,168	-0,512	0,324	0,382	0,168	
B	0,274	0,158	0,204	-0,059	-0,019	0,585	-0,264	-0,139	0,475	0,585	0,288

APÊNDICE – 2 A. Coeficiente de correlação (r) entre as variáveis tecnológicas com as análises morfológicas, enzimáticas e fisiológicas da variedade RB92579
(continua)

	% BRIX	PCC	ATR	FIBRA	PUREZA	ART	U%CANÁ	Nº de perf.	Nº de folhas	Altura +1	Comp. +3	Largura +3	AF	IAF
PCC	0,977													
ATR	0,985	0,999												
FIBRA	0,078	0,195	0,163											
PUREZA	0,850	0,940	0,922	0,354										
ART	0,985	0,999	1,000	0,163	0,922									
U%CANÁ	-0,713	-0,780	-0,763	-0,755	-0,808	-0,762								
Nº de perf	0,051	0,046	0,057	0,019	-0,050	0,058	-0,047							
Nº de folhas	-0,403	-0,372	-0,380	0,038	-0,295	-0,379	0,239	0,175						
Altura +1	0,521	0,517	0,510	0,341	0,512	0,510	-0,583	-0,379	-0,343					
Comprimento +3	-0,722	-0,710	-0,715	-0,049	-0,626	-0,715	0,510	-0,167	0,250	-0,114				
Largura +3	-0,632	-0,619	-0,621	-0,160	-0,556	-0,621	0,529	0,082	0,615	-0,547	0,439			
AF	-0,751	-0,739	-0,742	-0,153	-0,664	-0,742	0,602	0,020	0,585	-0,494	0,672	0,960		
IAF	-0,751	-0,739	-0,742	-0,153	-0,664	-0,742	0,602	0,020	0,585	-0,494	0,672	0,960	1,000	
Nº de entrenos	0,871	0,868	0,870	0,297	0,778	0,870	-0,781	0,142	-0,281	0,666	-0,667	-0,508	-0,635	-0,635
Diametro colmos	-0,293	-0,320	-0,311	-0,061	-0,366	-0,311	0,237	0,239	0,102	-0,179	0,031	0,459	0,388	0,388
Compentreno	0,070	0,054	0,050	0,252	0,061	0,050	-0,224	-0,325	-0,515	0,302	0,117	-0,535	-0,405	-0,405
PF folha	-0,230	-0,219	-0,209	-0,226	-0,271	-0,209	0,310	0,617	0,379	-0,677	0,030	0,571	0,486	0,486
PF colmo	0,039	0,045	0,042	0,160	0,061	0,041	-0,138	-0,165	0,007	0,380	0,251	-0,111	-0,016	-0,016
PS folha	0,181	0,192	0,202	-0,074	0,109	0,202	-0,067	0,677	0,202	-0,409	-0,324	0,306	0,156	0,156
PS colmo	0,374	0,292	0,303	-0,097	0,193	0,303	-0,178	-0,050	-0,413	0,409	-0,436	-0,303	-0,386	-0,386
IVA FOLHA	0,279	0,321	0,307	0,460	0,373	0,308	-0,506	0,041	-0,345	0,393	-0,314	-0,487	-0,506	-0,506
IVA COLMO	-0,459	-0,419	-0,424	-0,380	-0,322	-0,424	0,570	0,088	0,425	-0,235	0,561	0,487	0,573	0,573
IVN FOLHA	0,541	0,481	0,493	0,135	0,346	0,493	-0,451	0,149	-0,516	0,271	-0,448	-0,348	-0,428	-0,428
IVN COLMO	0,006	-0,056	-0,046	-0,324	-0,107	-0,046	0,223	0,041	0,087	-0,162	-0,140	0,174	0,102	0,102
Susy S FOLHA	-0,312	-0,284	-0,290	-0,287	-0,198	-0,290	0,408	-0,007	0,224	-0,373	-0,036	0,411	0,323	0,323
Susy S COLMO	0,310	0,404	0,391	0,121	0,475	0,391	-0,289	-0,147	-0,260	0,207	-0,003	-0,244	-0,213	-0,213
Susy Q FOLHA	-0,605	-0,596	-0,595	-0,231	-0,554	-0,595	0,560	0,359	0,370	-0,760	0,465	0,689	0,716	0,716
Susy Q COLMO	-0,688	-0,703	-0,701	-0,261	-0,654	-0,701	0,636	-0,069	0,335	-0,574	0,548	0,702	0,755	0,755
SPS FOLHA	0,009	-0,029	-0,016	-0,247	-0,115	-0,016	0,168	-0,220	-0,247	0,084	0,136	-0,214	-0,131	-0,131
SPS Colmo	-0,177	-0,204	-0,207	-0,129	-0,152	-0,207	0,207	-0,350	-0,157	0,259	0,211	0,102	0,147	0,147
SPAD	-0,209	-0,224	-0,232	0,130	-0,156	-0,232	0,047	-0,416	0,429	0,421	0,231	0,201	0,233	0,233

APÊNDICE – 2 A. Coeficiente de correlação (r) entre as variáveis tecnológicas com as análises morfológicas, enzimáticas e fisiológicas da variedade RB92579
(conclusão)

	% BRIX	PCC	ATR	FIBRA	PUREZA	ART	U%CANÁ	Nº de perf.	Nº de folhas	Altura +1	Comp. +3	Largura +3	AF	IAF
NDVI	-0,053	0,007	-0,001	0,156	0,058	-0,001	-0,076	0,193	-0,356	-0,249	-0,061	-0,372	-0,328	-0,328
Chlor <i>a</i>	-0,809	-0,829	-0,828	-0,331	-0,768	-0,828	0,765	-0,158	0,529	-0,609	0,537	0,778	0,814	0,814
Chlor <i>b</i>	-0,866	-0,865	-0,867	-0,278	-0,778	-0,868	0,765	-0,142	0,472	-0,647	0,532	0,686	0,737	0,737
Chlor <i>a + b</i>	-0,833	-0,847	-0,847	-0,319	-0,778	-0,847	0,772	-0,155	0,518	-0,626	0,541	0,759	0,800	0,800
Carotenoides	-0,816	-0,827	-0,821	-0,377	-0,794	-0,821	0,802	0,079	0,478	-0,747	0,549	0,782	0,820	0,820
Chlor <i>a/b</i>	0,553	0,498	0,509	0,005	0,374	0,510	-0,367	0,159	-0,060	0,284	-0,289	-0,007	-0,099	-0,099
PBU	0,078	0,195	0,163	1,000	0,354	0,162	-0,755	0,019	0,037	0,341	-0,049	-0,160	-0,153	-0,153
POL % CE	0,950	0,989	0,983	0,335	0,955	0,983	-0,861	0,050	-0,350	0,545	-0,689	-0,616	-0,731	-0,731
BRIX	0,975	0,979	0,980	0,295	0,892	0,980	-0,849	0,055	-0,376	0,573	-0,703	-0,638	-0,752	-0,752
AR	-0,828	-0,924	-0,905	-0,427	-0,997	-0,904	0,845	0,050	0,286	-0,526	0,612	0,554	0,658	0,658
N	0,432	0,475	0,469	0,194	0,482	0,469	-0,421	0,111	-0,216	0,350	-0,055	-0,572	-0,499	-0,499
P	0,028	0,096	0,093	0,194	0,097	0,093	-0,155	0,379	-0,212	-0,020	0,103	-0,100	-0,058	-0,058
K	-0,427	-0,355	-0,372	0,139	-0,207	-0,372	0,183	-0,352	0,256	-0,049	0,738	0,179	0,370	0,370
Ca	-0,712	-0,643	-0,657	0,016	-0,498	-0,657	0,457	-0,252	0,230	-0,368	0,723	0,383	0,540	0,540
Mg	0,664	0,611	0,626	-0,032	0,454	0,626	-0,414	0,406	-0,312	0,158	-0,828	-0,312	-0,514	-0,514
Fe	0,028	0,096	0,093	0,194	0,097	0,093	-0,155	0,379	-0,212	-0,020	0,103	-0,100	-0,058	-0,058
S	0,372	0,391	0,390	-0,147	0,391	0,391	-0,141	-0,014	-0,324	0,270	0,015	-0,357	-0,297	-0,297
B	-0,323	-0,309	-0,321	0,113	-0,205	-0,321	0,133	-0,334	-0,078	0,188	0,305	0,010	0,100	0,100

APÊNDICE – 2 B. Coeficiente de correlação (r) entre as variáveis tecnológicas com as análises morfológicas, enzimáticas e fisiológicas da variedade RB92579

	Nº de entrenós	Diâmetro colmos	Comp. entrenó	PF folha	PF colmo	PS folha	PS colmo	IVA Folha	IVA Colmo	IVN Folha	IVN Colmo
Diâmetro colmos	-0,002										
Comp. entrenó	-0,055	-0,523									
PF folha	-0,250	0,271	-0,469								
PF colmo	0,119	-0,053	0,381	-0,041							
PS folha	0,191	0,239	-0,423	0,874	0,019						
PS colmo	0,504	0,229	0,206	-0,363	0,271	-0,041					
IVA FOLHA	0,466	0,171	0,115	-0,522	0,007	-0,303	0,380				
IVA COLMO	-0,453	0,052	-0,225	0,404	0,217	0,134	-0,345	-0,528			
IVN FOLHA	0,554	0,244	0,256	-0,122	0,216	0,227	0,698	0,296	-0,431		
IVN COLMO	-0,131	-0,310	-0,045	0,062	-0,513	-0,001	-0,003	-0,346	0,112	-0,182	
Susy S FOLHA	-0,272	0,316	-0,169	0,284	-0,045	0,118	-0,001	-0,147	0,500	-0,092	0,131
Susy S COLMO	0,273	-0,285	0,102	-0,002	0,204	0,081	-0,202	0,013	0,108	0,004	-0,430
Susy Q FOLHA	-0,682	0,231	-0,324	0,542	-0,291	0,212	-0,468	-0,366	0,466	-0,289	0,231
Susy Q COLMO	-0,744	0,081	-0,307	0,279	-0,428	-0,071	-0,463	-0,389	0,273	-0,528	0,420
SPS FOLHA	-0,139	-0,227	0,177	0,029	-0,051	-0,033	-0,231	-0,313	0,046	-0,142	0,198
SPS Colmo	-0,071	0,203	-0,041	-0,532	-0,066	-0,585	0,321	0,350	-0,054	-0,136	0,070
SPAD	0,057	0,113	-0,134	-0,472	0,123	-0,533	0,114	0,086	0,119	-0,352	0,016
NDVI	-0,143	-0,082	0,244	-0,183	-0,328	-0,239	-0,178	0,375	-0,354	-0,003	-0,209
Chlor <i>a</i>	-0,838	0,118	-0,193	0,349	-0,195	-0,056	-0,426	-0,604	0,507	-0,608	0,393
Chlor <i>b</i>	-0,887	0,126	-0,111	0,328	-0,155	-0,111	-0,467	-0,496	0,471	-0,643	0,250
Chlor <i>a + b</i>	-0,860	0,121	-0,171	0,347	-0,186	-0,072	-0,442	-0,579	0,502	-0,623	0,356
Carotenoides	-0,846	0,277	-0,304	0,562	-0,235	0,126	-0,545	-0,599	0,575	-0,557	0,261
Chlor <i>a/b</i>	0,540	0,067	-0,208	0,046	-0,099	0,344	0,312	-0,066	-0,096	0,538	0,270
PBU	0,297	-0,061	0,252	-0,226	0,160	-0,074	-0,097	0,460	-0,380	0,135	-0,324
POL % CE	0,878	-0,315	0,087	-0,241	0,068	0,176	0,265	0,375	-0,457	0,481	-0,101
BRIX	0,900	-0,293	0,120	-0,267	0,071	0,159	0,335	0,367	-0,523	0,548	-0,065
AR	-0,778	0,356	-0,082	0,287	-0,071	-0,096	-0,185	-0,404	0,346	-0,349	0,131
N	0,378	-0,293	0,243	-0,365	0,090	-0,183	-0,026	0,509	-0,168	0,063	-0,339
P	0,150	0,173	-0,176	0,185	-0,199	0,221	-0,270	0,324	-0,151	-0,057	-0,281
K	-0,531	-0,383	0,203	-0,151	0,125	-0,481	-0,701	-0,191	0,373	-0,634	-0,052
Ca	-0,751	-0,126	0,068	0,101	-0,159	-0,283	-0,716	-0,349	0,333	-0,659	-0,064
Mg	0,741	0,266	-0,162	0,112	-0,064	0,512	0,680	0,308	-0,449	0,711	-0,007
Fe	0,150	0,173	-0,176	0,185	-0,199	0,221	-0,270	0,324	-0,151	-0,057	-0,281
S	0,217	-0,219	-0,125	-0,364	-0,302	-0,315	-0,102	0,264	-0,023	-0,030	0,045
B	-0,161	0,386	0,239	-0,443	0,358	-0,419	0,428	0,291	0,034	0,250	-0,435

APÊNDICE – 2 C. Coeficiente de correlação (r) entre as variáveis tecnológicas com as análises morfológicas, enzimáticas e fisiológicas da variedade RB92579

	Susy S Folha	Susy S Colmo	Susy Q Folha	Susy Q Colmo	SPS Folha	SPS Colmo	SPAD	NDVI	Chlor <i>a</i>	Chlor <i>b</i>	Chlor <i>a + b</i>	Carotenoides	Chlor <i>a/b</i>
Susy S COLMO	-0,095												
Susy Q FOLHA	0,386	-0,312											
Susy Q COLMO	0,080	-0,332	0,732										
SPS FOLHA	-0,328	0,065	-0,215	0,122									
SPS Colmo	0,080	-0,335	0,084	0,237	-0,287								
SPAD	0,050	-0,156	-0,215	0,040	-0,239	0,514							
NDVI	-0,075	0,023	0,146	-0,067	-0,093	0,065	-0,395						
Chlor <i>a</i>	0,414	-0,392	0,664	0,809	0,086	0,140	0,238	-0,226					
Chlor <i>b</i>	0,499	-0,365	0,664	0,729	0,031	0,148	0,178	-0,014	0,955				
Chlor <i>a + b</i>	0,442	-0,388	0,670	0,794	0,071	0,143	0,223	-0,168	0,996	0,977			
Carotenoides	0,456	-0,304	0,781	0,771	0,126	-0,023	0,004	-0,069	0,923	0,920	0,931		
Chlor <i>a/b</i>	-0,293	0,032	-0,186	-0,146	0,081	-0,209	-0,080	-0,517	-0,325	-0,573	-0,399	-0,349	
PBU	-0,287	0,121	-0,231	-0,261	-0,247	-0,128	0,129	0,157	-0,331	-0,278	-0,319	-0,377	0,005
POL % CE	-0,315	0,407	-0,605	-0,713	-0,065	-0,217	-0,196	0,028	-0,845	-0,872	-0,860	-0,848	0,480
BRIX	-0,361	0,325	-0,629	-0,716	-0,046	-0,200	-0,172	-0,017	-0,847	-0,891	-0,867	-0,864	0,533
AR	0,216	-0,468	0,560	0,656	0,130	0,155	0,138	-0,069	0,771	0,777	0,780	0,802	-0,363
N	-0,285	0,281	-0,301	-0,457	-0,006	0,096	-0,086	0,389	-0,582	-0,506	-0,566	-0,532	0,003
P	-0,336	0,274	-0,002	0,034	0,302	-0,123	-0,374	0,424	-0,309	-0,241	-0,293	-0,072	-0,035
K	-0,102	0,191	0,298	0,406	0,158	0,093	0,207	0,147	0,390	0,424	0,403	0,364	-0,387
Ca	0,014	0,159	0,386	0,596	0,197	-0,062	0,028	0,232	0,572	0,631	0,594	0,613	-0,485
Mg	0,000	-0,005	-0,401	-0,575	-0,214	-0,177	-0,271	-0,082	-0,613	-0,646	-0,628	-0,555	0,485
Fe	-0,336	0,274	-0,002	0,034	0,302	-0,123	-0,374	0,424	-0,309	-0,241	-0,293	-0,072	-0,035
S	-0,334	0,276	-0,058	-0,045	-0,015	0,237	-0,099	0,295	-0,409	-0,441	-0,422	-0,332	0,235
B	0,094	-0,228	-0,091	-0,110	-0,162	0,445	0,303	0,059	0,016	0,056	0,028	-0,068	-0,135

APÊNDICE – 2 D. Coeficiente de correlação (r) entre as variáveis tecnológicas com as análises morfológicas, enzimáticas e fisiológicas da variedade RB92579

	PBU	POL % CE	BRIX	AR	N	P	K	Ca	Mg	Fe	S
PBU											
POL % CE	0,335										
BRIX	0,295	0,984									
AR	-0,427	-0,951	-0,887								
N	0,194	0,484	0,456	-0,481							
P	0,194	0,121	0,071	-0,109	0,438						
K	0,138	-0,320	-0,378	0,193	0,161	0,073					
Ca	0,016	-0,615	-0,678	0,484	-0,139	0,217	0,747				
Mg	-0,032	0,582	0,630	-0,439	0,040	0,031	-0,933	-0,823			
Fe	0,194	0,121	0,071	-0,109	0,438	1,000	0,073	0,217	0,031		
S	-0,147	0,353	0,324	-0,363	0,462	0,272	0,236	0,035	-0,061	0,272	
B	0,113	-0,283	-0,287	0,182	0,108	-0,149	-0,001	0,018	-0,128	-0,149	-0,143