



**Universidade Federal de São Carlos**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**Curso de Engenharia Agrônoma**



**PAULO HENRIQUE PIZZI DE SANTI**

**AVALIAÇÃO MORFOLÓGICA E NUTRICIONAL DE MUDAS PRÉ-  
BROTADAS (MPB) DE CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADAS EM  
DIFERENTES SUBSTRATOS**

**ARARAS - 2017**



**Universidade Federal de São Carlos**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**Curso de Engenharia Agrônoma**



**PAULO HENRIQUE PIZZI DE SANTI**

**AVALIAÇÃO MORFOLÓGICA E NUTRICIONAL DE MUDAS PRÉ-  
BROTADAS (MPB) DE CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADAS EM  
DIFERENTES SUBSTRATOS**

Monografia apresentada ao Curso de  
Engenharia Agrônoma – CCA – UFSCar para  
a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Marcio Roberto Soares

**ARARAS – 2017**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, que durante toda a minha graduação me deu todo discernimento e sabedoria para poder enfrentar todas as situações e momentos difíceis, me encorajando com força e saúde para buscar sempre vencer as dificuldades imposta pela vida. Agradeço à minha família, por estarem ao meu lado nas conquistas e nos momentos difíceis, me aconselhando e fazendo o de melhor para que eu realizasse o sonho de me tornar engenheiro agrônomo.

Agradeço a minha mãe Cláudia, meu pai Claudio, minha irmã Beatriz, meus avós Tereza, Isabel e Sebastião, meus tios e primos, que por incessantes vezes se preocuparam com minha formação e crescimento humano e profissional, é com todo carinho que dedico mais essa vitória.

Agradeço imensamente aos professores da UFSCar, em especial o meu orientador e amigo Dr. Marcio Roberto Soares e Dr. José Carlos Casagrande, pela confiança e nunca medindo esforços para me apoiar, ensinar e contribuir com toda dedicação com meu crescimento pessoal.

Em especial a Ana Lúcia Scavazza que desde o início da minha graduação sempre me apoiou e me ajudou nas horas que mais precisei, uma das pessoas que mais me incentivou a conduzir todo esse trabalho, Ana Laura Belloni, Kauê de Sousa Soares Rocha, Rodrigo Singulane Gonçalves que não me desampararam e confiaram neste trabalho. Aos companheiros do Grupo de Estudo e Pesquisa em Fertilidade do Solo (GEFERT) Diego, Danilo, Gustavo, Ingrid, Jéssica, Júlia, Laíse e Rafaela agradeço imensamente todas as palavras de apoio e preocupação com a realização deste trabalho.

Agradeço aos meus amigos e companheiro de moradia César Augusto Santana, Matheus Sleiman, Murillo Perticarari, Gabriel e Marcel que sem a amizade, conversas, risadas e convivência com vocês, esses anos de faculdade não seriam tão bons como foram. Sempre vou sentir saudades de vocês.

Aos funcionários e técnicos do Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar (PMGCA/UFSCar/RIDESA), Luiz Fernando (Fernandinho), Flávio Costa, Sr. João, Geraldinho e toda a equipe que não mediram esforços para ajudar no que fosse necessário para o desenvolvimento deste projeto.

Aos funcionários e estagiários Laboratório de Análise Química de Solos e Planta (DRNPA/CCA/UFSCar), a Larissa, João Consoni, Roberto e Sílvia pelo tempo e apoio desprendido nas análises envolvidas nesta pesquisa. A Camila Pessoto, sempre prestativa, gentil e paciente nas diversas vezes em que vos procurei, ao técnico agrícola do DRNPA Rubens (Rubão) por toda troca de experiência em todo esse tempo de graduação. A todos que direta e indiretamente contribuíram para o meu crescimento e desenvolvimento deste experimento, meus sinceros agradecimentos!

**“Para ter um negócio de sucesso, alguém,  
algum dia, teve que tomar uma atitude de  
coragem”**

**Peter Drucker**

## RESUMO

O sistema de mudas pré-brotadas (MPB) é uma nova tecnologia de multiplicação de cana-de-açúcar, que visa desenvolver materiais com elevado padrão de uniformidade e fitossanidade. Nessa técnica, o substrato desempenha importante função, como meio para o suprimento de água, oxigênio e nutrientes, influenciando decisivamente na qualidade das mudas. O objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho de substratos nas características morfológicas e nutricionais de mudas pré-brotadas (MPB) de cana-de-açúcar. Minirrebolos das variedades RB92579, RB966928 e RB867515 foram cultivados em areia, em areia+solução nutritiva e em três substratos comerciais (S1, S2 e S3). O delineamento experimental foi o inteiramente ao acaso, em esquema fatorial 5x3, com cinco repetições. Aos 70 dias após o plantio, avaliaram-se a altura, o diâmetro ( $\emptyset$ ) do colmo, a massa seca da parte aérea (MSPA) e da raiz (MSR), o Índice de Qualidade de Dickson (IQD) e a eficiência de utilização de nitrogênio (EUN), fósforo (EUP) e potássio (EUK) das mudas. Houve interação significativa entre os substratos e as variedades para todas as variáveis estudadas, exceto para EUP e EUK, dificultando generalizações sobre qual substrato promoveu melhor desenvolvimento das MPBs. A variedade RB92579 de cana-de-açúcar apresentou as melhores eficiências de utilização de N, P e K. As melhores eficiências de utilização de P e de K foram obtidas em substratos com maior restrição de fornecimento de nutrientes, indicando que o minirrebolo é importante estrutura de reserva na fase de produção de mudas. A massa seca de raiz (MSR) foi o parâmetro mais indicado para avaliar a qualidade de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar.

**Palavras-chave:** meio de cultivo; biometria; *Saccharum officinarum*, eficiência nutricional.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Fases fenológicas da cana-de-açúcar.....	<b>14</b>
<b>Figura 2.</b> Sulcação e adubação (a); distribuição manual dos colmos (b); fracionamento dos colmos (c); cobertura e aplicação de defensivos (d).....	<b>18</b>
<b>Figura 3.</b> Distribuição mecanizada de colmos durante plantio de cana-de-açúcar.....	<b>18</b>
<b>Figura 4.</b> Corte de minirrebolos de cana-de-açúcar em guilhotina de lâmina dupla.....	<b>20</b>
<b>Figura 5.</b> Imersão de minirrebolos de cana-de-açúcar em calda de fungicida.....	<b>20</b>
<b>Figura 6.</b> Distribuição e cobertura de minirrebolos de cana-de-açúcar em caixas plásticas para a brotação.....	<b>21</b>
<b>Figura 7.</b> Processo de repicagem de plântulas de cana-de-açúcar para tubetes.....	<b>21</b>
<b>Figura 8.</b> Aclimação de plântulas de cana-de-açúcar em ambientes controlados (fase I de aclimação em casa de vegetação ou viveiros telados).....	<b>22</b>
<b>Figura 9.</b> Mudanças pré-brotadas de cana-de-açúcar em bancadas a pleno sol (fase II de aclimação).....	<b>22</b>
<b>Figura 10.</b> Mudanças pré-brotadas de cana-de-açúcar com padrão satisfatório de vigor da parte aérea e de sistema radicular, aptas para o transplante no campo.....	<b>23</b>
<b>Figura 11.</b> Plantio manual mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar com matrizes.....	<b>23</b>
<b>Figura 12.</b> Plantio mecanizado de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar.....	<b>24</b>
<b>Figura 13.</b> Informações climáticas mensais de precipitação pluvial (mm) e temperatura média (°C) registradas durante as fases de produção de mudas pré-brotadas (MPB) de cana-de-açúcar.....	<b>32</b>
<b>Figura 14.</b> Seleção e limpeza de colmos de cana-de-açúcar com idade de 14 meses, realizados por funcionários do PMGCA/UFSCar.....	<b>34</b>
<b>Figura 15.</b> Sistema de guilhotina para corte de minirrebolos de cana-de-açúcar (a) e seleção das melhores gemas (b).....	<b>35</b>
<b>Figura 16.</b> Tratamento térmico (a) e com fungicida a base de piraclostrobina (comet®) (b) de minirrebolos das variedades de cana-de-açúcar.....	<b>35</b>
<b>Figura 17.</b> Minirrebolos de cana-de-açúcar distribuídos em caixas plásticas de brotação e cobertos com os substratos.....	<b>36</b>
<b>Figura 1813.</b> Caixas de brotação com minirrebolos de cana-de-açúcar, mantidas em casa de vegetação com controle rígido de temperatura e de umidade.....	<b>36</b>
<b>Figura 1914.</b> Processo de individualização de plântulas de cana-de-açúcar.....	<b>37</b>
<b>Figura 20.</b> Plântulas de cana-de-açúcar em viveiro telado (fase de aclimação I).....	<b>37</b>
<b>Figura 151.</b> Plântulas de cana-de-açúcar em pátio a pleno sol (fase de aclimação II).....	<b>38</b>
<b>Figura 22.</b> Altura (cm) de mudas pré-brotadas de variedades de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes tipos de substratos, aos 70 dias após o plantio.....	<b>43</b>
<b>Figura 23.</b> Diâmetro (mm) de colmos de mudas pré-brotadas de variedades de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes tipos de substratos, aos 70 dias após o plantio.....	<b>45</b>
<b>Figura 24.</b> Massa seca da parte aérea (g) de mudas pré-brotadas de variedades de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes tipos de substratos, aos 70 dias após o plantio.....	<b>47</b>
<b>Figura 25.</b> Massa seca das raízes (g) de mudas pré-brotadas de variedades de cana-de-açúcar, cultivadas em diferentes tipos de substratos, aos 70 dias após o plantio.....	<b>49</b>
<b>Figura 26.</b> Índice de Qualidade de Dickson (IQD) de mudas pré-brotadas de variedades de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes tipos de substratos.....	<b>51</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Extração e exportação de macronutrientes para a produção de 100 t de colmos de cana-de-açúcar. ....	26
<b>Tabela 2.</b> Extração e exportação de micronutrientes para a produção de 100 t de colmos de cana-de-açúcar. ....	26
<b>Tabela 3.</b> Características químicas e físicas dos substratos comerciais utilizados no cultivo de mudas pré-brotadas (MPB) de cana-de-açúcar. ....	33
<b>Tabela 4.</b> Análise de variância de parâmetros biométricos, de índice de qualidade da muda e de eficiência nutricional de mudas pré-brotadas de variedades de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes substratos. ....	41
<b>Tabela 5.</b> Parâmetros morfológicos, eficiência de utilização de N-P-K e índice de qualidade de dickson (IQD) de mudas de variedades de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes tipos de substratos. ....	42
<b>Tabela 6.</b> Eficiência de utilização de nitrogênio (EUN) de mudas pré-brotadas de variedades de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes tipos de substratos. ....	52
<b>Tabela 7.</b> Eficiência de utilização de fósforo (EUP) de mudas pré-brotadas de variedades de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes tipos de substratos. ....	53
<b>Tabela 8.</b> Eficiência de utilização de potássio (EUK) de mudas pré-brotadas de variedades de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes tipos de substratos. ....	55
<b>Tabela 9.</b> Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis Índice de Qualidade de Dickson (IQD), altura, diâmetro de colmo, massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), eficiência de utilização de nitrogênio (EUN), de fósforo (EUP) e de potássio (EUK), em mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes substratos. ....	57
<b>Tabela 10.</b> Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis índice de qualidade de Dickson (IQD), altura, diâmetro de colo, massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), eficiência de utilização de nitrogênio (EUN), de fósforo (EUP) e de potássio (EUK), em mudas pré-brotadas de diferentes variedades de cana-de-açúcar. ....	58

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>12</b>
2.1 A cana-de-açúcar no Brasil .....	12
2.2 Botânica, anatomia e fisiologia da brotação da cana-de-açúcar .....	13
2.3 Programas de melhoramento genético e as variedades de cana-de-açúcar..	16
2.4 Sistemas de plantio de cana-de-açúcar.....	17
2.5 Exigência nutricional da cana-de-açúcar .....	24
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	<b>31</b>
3.1 Objetivos específicos:.....	31
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>32</b>
4.1 Substrato .....	32
4.2 Variedades de cana-de-açúcar.....	33
4.3 Instalação e condução do experimento .....	34
4.4 Adubação .....	38
4.5 Avaliação dos parâmetros biométricos e nutricionais .....	39
4.6 Índice de qualidade de mudas pré-brotadas (MPB) .....	39
4.7 Delineamento experimental e análise estatística.....	40
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>41</b>
5.1 Avaliações biométricas .....	43
5.2 Avaliações Nutricionais.....	52
5.3 Análise de correlação de Pearson .....	56
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>59</b>
<b>7. CONCLUSÕES</b> .....	<b>59</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>61</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) ocupa atualmente cerca de 9,2 milhões de hectares agricultáveis do Brasil. A produção nacional chegou a 694,5 milhões de toneladas na safra 2016/17, produzindo 11,4 bilhões de litros de etanol e 39,8 milhões de toneladas de açúcar (CONAB, 2017). Além do bioetanol, os subprodutos da cana-de-açúcar, tais como a palha, o bagaço e a vinhaça, tornaram-se recursos de grande potencial para a geração de energia elétrica no país.

O setor sucroenergético tem buscado inovações tecnológicas em seus processos agrícolas, principalmente quanto ao plantio e a colheita mecanizada, visando alcançar qualidade da matéria-prima, longevidade do canavial e, sobretudo, altas produtividades (LANDELL et al., 2013).

O plantio convencional mecanizado da cana-de-açúcar vem apresentando problemas relacionados à alta incidência de danos às gemas, exigindo uma quantidade de colmos-semente superior a 20 t ha<sup>-1</sup> para evitar prejuízos na produtividade, sendo um gasto excessivo de colmos que poderiam ser destinados à indústria. Além disso, este tipo de plantio tende a aumentar a difusão de pragas e doenças (LANDELL et al., 2013).

O sistema de Mudas Pré-Brotadas (MPB), desenvolvido pelo Programa Cana do Instituto Agrônomo (IAC), permite obter canaviais de excelente padrão clonal, com maior uniformidade e com número reduzido de mudas, além de diminuir os riscos de falhas e de propagação de pragas e doenças, reduzindo a competição intraespecífica comum em canaviais plantados com excesso de gemas por metro linear (LANDELL et al., 2013; XAVIER et al., 2014).

O substrato pode atuar diretamente em vários fatores que determinam o sucesso da brotação das gemas no sistema MPB, uma vez que desempenha importante função no estabelecimento do sistema radicular e no suprimento de água, oxigênio e nutrientes, influenciando no vigor e na sanidade das plantas. Além do baixo custo, um substrato adequado deve apresentar características físicas e químicas importantes para um bom desenvolvimento das mudas, tais como uniformidade na composição, baixo índice salino, elevada capacidade de troca de cátions (CTC), baixa densidade, boa capacidade de retenção de água e ausência de pragas, doenças e de sementes de plantas invasoras (XAVIER et al., 2014).

Apesar da reconhecida importância do substrato no sistema de produção de mudas, a maioria dos estudos é direcionada ao cultivo de mudas de plantas ornamentais, frutíferas, silvícolas e olerícolas. Assim, pelo fato de o sistema de produção de MPB de cana-de-açúcar ser uma prática recente e inovadora, a quantidade de informações a respeito da influência dos substratos na germinação dos minirrebolos e no desenvolvimento inicial das mudas ainda é incipiente. Da mesma forma, ainda não estão estabelecidos os melhores parâmetros biométricos para atestar o desenvolvimento das MPBs.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A cana-de-açúcar no Brasil

A cana-de-açúcar tem tradição secular no cultivo e processamento para a produção de açúcar e álcool (GARCIA, 2015). A sua história é marcada no Brasil desde o período colonial. O açúcar foi considerado por um longo período o responsável, por grande parcela do produto e da renda (NASTARI, 2015).

A criação do Instituto do Açúcar e do Álcool (IAA), em 1933, apontava para o crescente desenvolvimento da lavoura canavieira (RODRIGUES, 2010). Porém, o processo só avançou de forma intensa a partir da década de 1970, com a criação e o estabelecimento do Proálcool (Programa Nacional do Álcool), gerando crescimento e riqueza sem precedentes (RODRIGUES, 2015).

O crescimento do setor após a criação do Proálcool ocorreu não somente de estímulos na produção, mas também do intenso desenvolvimento no setor de pesquisa e de desenvolvimento tecnológico, envolvendo os setores químico, agrícola e automobilístico (CARVALHO; CARRIJO, 2007; GARCIA; LUNAS; VIEIRA, 2015). Os setores químico e automobilístico impulsionaram diretamente o desenvolvimento do setor sucroalcooleiro a partir do incentivo à produção do álcool combustível para substituir a gasolina, plenamente justificada em meio às crises do petróleo de 1973 e de 1979 (JORDÃO et al., 2015).

Devido à crescente demanda mundial por processos mais limpos e viáveis nos aspectos econômicos, sociais e ambientais e por soluções ao grave problema do fornecimento energético que afeta todo o mundo, há expectativas de grande crescimento do mercado de biocombustíveis, sobretudo o do etanol, (RODRIGUES, 2010). O cenário é promissor para o Brasil, cuja evolução agrícola canavieira contou com diversos fatores como as inovações genéticas (variedades), química (adubos e defensivos) e mecânicas (adoção de mecanização do plantio e colheita) (VIAN et al., 2015).

As inovações genéticas tiveram as suas contribuições ao setor canavieiro devido à criação dos centros de pesquisas. O Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) iniciou estudos com cana-de-açúcar em 1887, com grande expansão na pesquisa a partir de 1928. Em 1969, foi criado o Centro de Tecnologia Canavieira, controlado pela Copersucar, principal cooperativa do setor sucroenergético.

Posteriormente, em 1971, teve origem o Planalsucar (Plano Nacional de Melhoramento de Cana-de-açúcar), sob responsabilidade do Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA) e com o intuito de buscar novos conhecimentos e de levar ao produtor de cana-de-açúcar novas variedades, tecnologia e produtos gerados a partir das pesquisas (DINARDO-MIRANDA et al., 2010; DAROS et al., 2015).

O pleno desempenho do potencial genético das variedades de cana-de-açúcar passou a ter maior dependência dos insumos e dos tratos culturais. Embora a utilização de fertilizantes e de defensivos tenha assumido maior relevância na busca de altas produtividades (DINARDO-MIRANDA et al., 2010), a canavicultura ainda enfrenta limitações quanto aos sistemas de plantio. Mais recentemente, o sistema convencional manual de plantio, em que são utilizadas entre 6 e 8 t de colmos-semente/ha (FRAGA JÚNIOR, 2015), tem sido substituído pelo sistema de plantio mecanizado. O sistema possibilita a mecanização total das operações de plantio, mas restrições como a alta incidência de danos às gemas e o aumento do custo com colmos-semente, que passou a ser de 20 t/ha, tem impelido o setor a buscar novas opções de plantio (LANDELL et al., 2013; FRAGA JÚNIOR, 2015).

## **2.2 Botânica, anatomia e fisiologia da brotação da cana-de-açúcar**

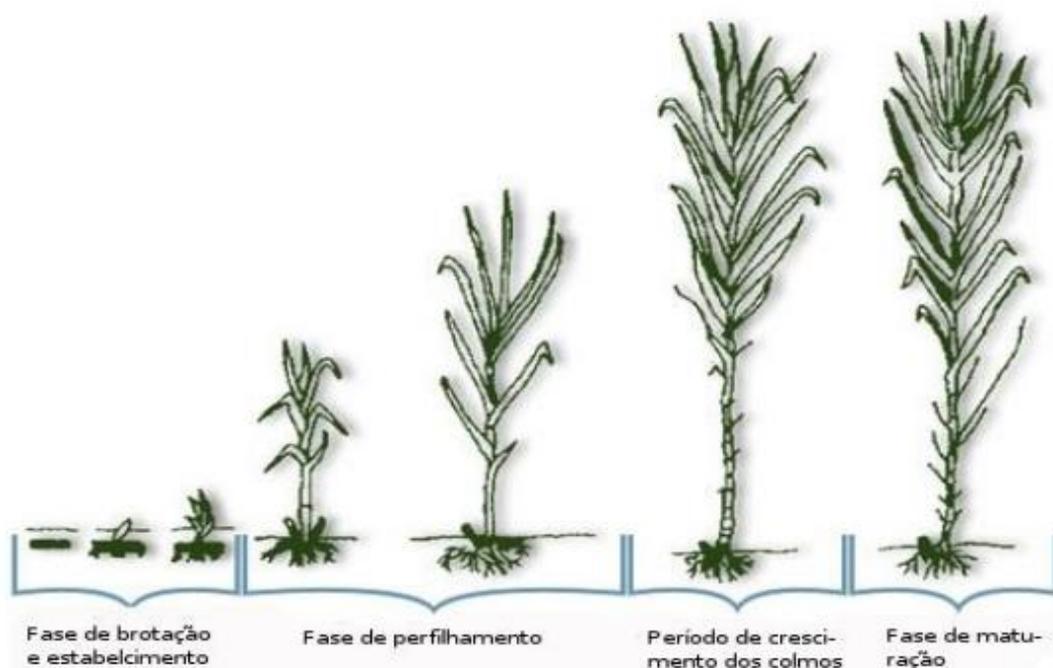
A cultura da cana-de-açúcar é de origem não definida. A domesticação ocorreu na Ásia, na região da Indonésia e Nova Guiné, devido ao interesse pelo seu caldo açucarado (RIPOLI et al., 2007; MARCO, 2017). Atualmente é cultivada em diferentes altitudes, variando desde o nível do mar a até 1000 m. Conseqüentemente, é resistente e suporta temperaturas elevadas entre 34 °C e 35 °C (MAGALHÃES, 1987; FRAGA JUNIOR, 2015; RIBEIRO, 2016). Para Alfonsi (1987), as condições ambientais como temperatura, luz, disponibilidade de água e nutrientes, em sua ausência ou falta são os principais fatores que podem causar prejuízos em seu desenvolvimento. Devido a ser uma gramínea do tipo C4, que apresenta alta taxa fotossintética na captação de CO<sub>2</sub> da atmosfera (SEGATO et al., 2006), a cana-de-açúcar é adaptada a grandes variações dos fatores relatados por Alfonsi (1987).

A cana-de-açúcar comercialmente plantada é considerada uma planta semi-perene, pertencente à família Poaceae (Gramineae), gênero *Saccharum* L., cultivada através de híbridos originados do cruzamento de espécies do gênero

*Saccharum*, constituindo seis espécies: *S. officinarum*, *S. spontaneum*, *S. robustum*, *S. sinense*, *S. barberi* e *S. edule* (PURSEGLOVE, 1979; TOPPA, 2010). As duas espécies mais utilizadas nos cruzamentos são a *S. officinarum*, uma espécie classificada como não muito rústica e adaptável, com bons índices tecnológicos, principalmente por acumular altos teores de sacarose no colmo, e a *S. spontaneum*, caracterizada pelo seu excelente perfilhamento, capacidade de rebrota e resistência a doenças. Diferentemente da *S. officinarum*, *S. spontaneum* possui baixo acúmulo de sacarose no colmo (TOPPA, 2010; GARCIA, 2016).

A cana-de-açúcar possui reprodução sexuada, mas, quando cultivada comercialmente, é multiplicada assexuadamente por propagação vegetativa (RODRIGUES, 1995). Esse processo ocorre por meio do uso do colmo (tolete) com tamanho de aproximadamente trinta centímetros, contendo uma ou duas gemas. Essas estruturas reprodutivas começam seu desenvolvimento em condições favoráveis, utilizando a reserva nutricional dos colmos e pequena parte da água e dos nutrientes supridos pelas primeiras raízes, podendo assim formar um colmo principal de uma touceira (MAGRO et al., 2011).

Os processos fisiológicos podem variar de acordo com as fases de brotação, perfilhamento, crescimento, maturação e florescimento da planta (CASAGRANDE & VASCONCELOS, 2010), que constituem o ciclo fenológico proposto da cana-de-açúcar (GASCHO & SHIH, 1983) (Figura 1).



**Figura 01.** Fases fenológicas da cana-de-açúcar

**Fonte:** Gascho & Shih (1983).

Para o bom desenvolvimento da cana-de-açúcar, a fase de brotação é de suma importância, pois uma boa brotação reflete um bom começo, trazendo consigo no final do ciclo plantas vigorosas (SILVA et al., 2003; SILVA et al., 2004). A característica de brotação é de alto interesse nas variedades, pois é um mecanismo para enfrentar condições ambientais desfavoráveis (CASAGRANDE, 1991).

Para que ocorra a fase de brotação, é necessário haver gemas viáveis e primórdios radiculares, que em condições favoráveis passa para o estado de crescimento e de desenvolvimento, devido às mudanças das reservas nutritivas pela atividade de enzimas e de reguladores de crescimento (DILLEWIJN, 1952). Esses processos iniciam-se quando o broto rompe as folhas da gema e se desenvolve em direção a superfície, surgindo concomitantemente as raízes do tolete. O período de emergência e de brotação ocorre de 20 a 30 dias após plantio (ELIA, 2016). Segundo Casagrande & Vasconcelos (2010), esse processo biológico consome energia, que é originária da degradação de substâncias de reserva do tolete. Carneiro et al. (1995) afirmaram que quanto mais bem nutrido estiverem os toletes de cana-de-açúcar, melhor serão a brotação e o desenvolvimento inicial, embora reconheçam que pouco se conhece a respeito da utilização da reserva orgânica e da redistribuição de nutrientes do tolete. As reservas de nutrientes juntamente com a presença de água são responsáveis pela evolução do processo de brotação em um período de 30 a 60 dias após o plantio (Bacchi, 1983; Casagrande, 1991; Casagrande & Vasconcelos, 2010; Landell et al., 2013). A dependência é gradativamente reduzida à medida que o sistema radicular se desenvolve, pois há aumento da superfície ativa de absorção de água e de nutrientes.

A fase de brotação no processo de produção de mudas pré-brotadas (MPB) leva de 40 a 60 dias após plantio (DAP), com condições ambientais ideais controladas por casa de vegetação, até atingir reserva vegetativa suficiente para plantio (ELIA, 2016). Mesmo que os colmos estejam bem nutridos e com boa reserva orgânica de nutrientes, é de suma importância a prática de adubação, para que possa acelerar consideravelmente seu crescimento e, conseqüentemente, diminuir período de tempo em viveiros (LANDELL et al., 2013).

### **2.3 Programas de melhoramento genético e as variedades de cana-de-açúcar**

É evidente que houve um incremento significativo na produção da cana-de-açúcar nas últimas quatro décadas, pautados em rendimento de açúcar e no aumento da rentabilidade das empresas do setor açucareiro brasileiro. Esses fatores são oriundos de investimentos empregados tanto na área agrícola como na industrial. Entretanto, a adoção de variedades de alta performance, produzidas por melhoramento genético, impulsionou intensamente o setor sucroalcooleiro (DAROS et al., 2015).

O investimento contínuo pelos programas de melhoramento genético elevou a uma condição privilegiada a canavieira brasileira, quando comparada com a mundial. O reflexo deste importante trabalho é visto pelo perfil responsivo das variedades recentemente lançadas. Essas novas cultivares necessitam de caracterização mais detalhada em relação ao seu desempenho em diversos ambientes de produção, reação a principais doenças, curva de maturação, potencial produtivo e de acúmulo de sacarose (RIDESA, 2010; LANDELL et al., 2015; EMBRAPA, 2016).

A eficiência da canavieira brasileira deve-se muito às pesquisas desenvolvidas pelas instituições brasileiras no passado, como a Copersucar, o Planalsucar e o Instituto Agrônomo, fazendo com que a produtividade da cana-de-açúcar saltasse de 55 para 75 a 80 toneladas por hectare, da década de 60 para os dias atuais (LANDELL, 2003).

Atualmente no Brasil existem três programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar em exercício e um recentemente encerrado: a RIDESA, Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucoenergético (variedades “RB”), composta atualmente por dez Universidades Federais, dentre elas a Universidade Federal de São Carlos (UFSCar); o CTC, Centro de Tecnologia Canavieira (variedades “CTC”), oriunda da antiga instituição Copersucar (variedades “SP”); e o IAC, Instituto Agrônomo de Campinas (variedades “IAC”). Em 2015, a CanaVialis-Monsanto (variedades “CV”) encerrou suas atividades como empresa privada no setor de desenvolvimento genético (CHAPOLA et al., 2011).

## 2.4 Sistemas de plantio de cana-de-açúcar

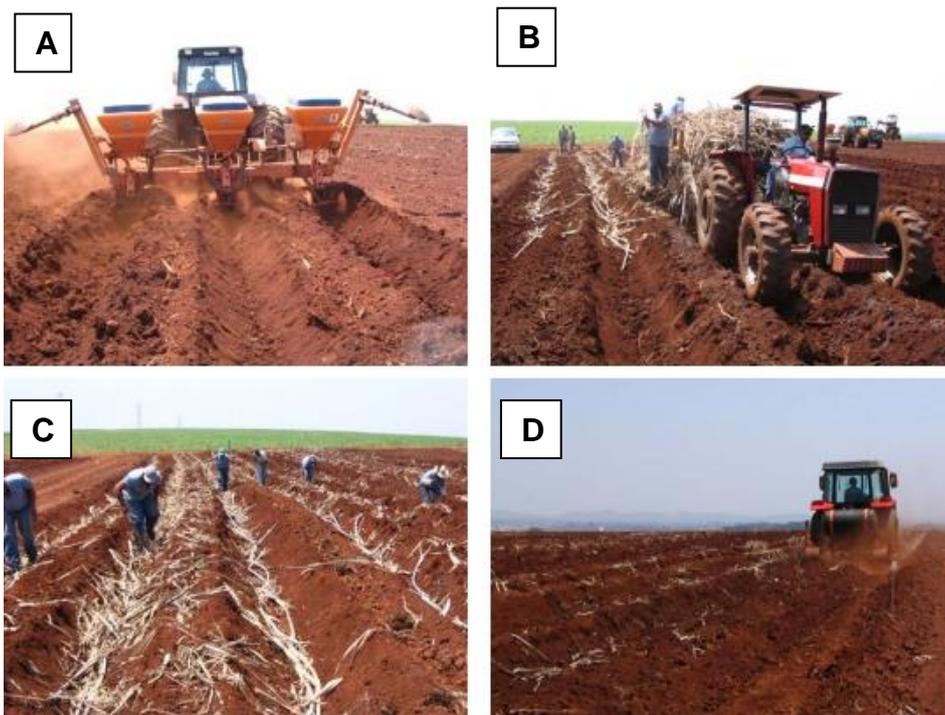
A cultura da cana-de-açúcar no Brasil vem passando por diferentes processos de transformação, assim como ocorreu com outras culturas de interesse econômico. Essas transformações estão ocorrendo principalmente nas etapas de produção, que vão desde o preparo de solo até a colheita, incluindo a adoção do plantio mecanizado (FURLANI & VOLTARELLI, 2015).

A implantação é a fase decisiva da lavoura, pois define o padrão e a longevidade do canavial, obrigatoriamente atrelados a um bom estande de mudas (CARLIN et al., 2004; ANJOS et al., 2010). A prática de plantio depende de fatores intrínsecos como a otimização da cultura, escolha da área e da variedade, sanidade da muda, época de plantio, preparo de solo adequado, profundidade de plantio, cobertura dos toletes e distribuição de gemas no sulco (CARLIN et al., 2004).

Segundo Mialhe (2012), citado por Furlani & Voltarelli (2015), o sistema de plantio de cana-de-açúcar é definido em função do tipo de cana-semente e da sua deposição no sulco, sendo assim, o primeiro relaciona-se com o sistema de plantio com colmo integral, que para Aude (1993) é propagado na forma de toletes (muda) com 3-4 gemas, proveniente dos colmos, que são depositados no sulco de plantio. Atualmente é testado a propagação de apenas uma gema, através da formação de uma muda, conforme proposto por Landell et al. (2013). O segundo remete ao sistema de plantio manual, semimecanizado e mecanizado de acordo com Ripoli et al. (2007), sendo este semiautomático ou inteiramente automatizado.

O sistema de plantio manual é utilizado basicamente nas regiões Norte e Nordeste e em áreas declivosas (FRAGA JÚNIOR, 2015). Para isso é utilizado um conjunto de operações de forma manual (COLETI, 1987): corte, carregamento e transporte de colmo-semente, sulcação e adubação, distribuição, alinhamento e picamento das mudas no sulco, cobertura dos sulcos juntamente à aplicação de inseticida e repasse manual da cobertura dos sulcos.

O plantio semimecanizado ou convencional (Figura 2), equivocadamente denominado de manual, é constituído pelo conjunto de operações manuais, descrito por Coleti (1987), e por operações mecanizadas que envolvem as etapas de sulcação, distribuição de mudas, fracionamento e alinhamento das mudas, cobertura do sulco e aplicação de defensivos e de fertilizantes (RIPOLI et al., 2007).



**Figura 02.** Sulcação e adubação (a); distribuição manual dos colmos (b); fracionamento dos colmos (c); cobertura e aplicação de defensivos (d).

**Fonte:** JANINI (2007).

Com a escassez de mão de obra e a busca de rendimento na etapa de plantio, o sistema de plantio mecanizado (Figura 3) tem por finalidade a eliminação da mão de obra envolvida no corte manual de colmos-semente e de parte do pessoal envolvido no plantio convencional. A mecanização das operações de plantio tende a reduzir custos e a propiciar maior facilidade de gerenciamento do sistema (FRAGA JUNIOR, 2015).



**Figura 03.** Distribuição mecanizada de colmos durante plantio de de cana-de-açúcar.

**Fonte:** FRAGA JUNIOR (2015)

Mesmo diante de todo esse processo de modernização nas operações de plantio da cana-de-açúcar, o sistema de plantio mecanizado ainda apresenta problemas que necessitam de ser ajustados, tais como (NORONHA, 2012): a diminuição do grande volume de mudas, que visa compensar falhas de deposição no sulco; a necessidade de um mecanismo dosador de rebolos; diminuição dos danos às gemas, causados dentro da plantadora; outros problemas que resultam em menor número de gemas por metro de sulco, aumentando a porcentagem de falhas e reduzindo a produtividade agrícola. Independentemente do modelo escolhido para o plantio, deve-se levar em conta que o sistema consiga obter boa produtividade através da alta qualidade de plantio, atrelada com a melhoria da relação custo/benefício (CARLIN et al., 2004).

#### **2.4.1. Mudanças pré-brotadas (MPB) de cana-de-açúcar**

O sistema de plantio de gemas isoladas foi utilizado em linha de pesquisa com objetivo de controlar o raquitismo da soqueira (*Leifsonia xyli* subsp. *xyli*) (SILVA, 1975). Além desse intuito, Stolf & Lee (1990) estudaram o plantio de gemas isoladas e de plântulas de cultura de tecidos com o objetivo de viabilizar o sistema de plantio através da diminuição de operações de campo, por meio da eliminação do uso de colmos como muda.

Recentemente, o sistema de plantio de gemas isoladas foi relançado no Brasil pelo Programa Cana do Instituto Agrônomo (IAC), com a denominação de “Sistema de Produção de Mudanças Pré-brotadas (MPB)” (LANDELL et al., 2013). O sistema tem por finalidade reduzir o número de falhas, os riscos de propagação de pragas e doenças e a quantidade de estruturas propagativas (XAVIER et al., 2014).

Estudos realizados por JAIN et al. (2010); SINGH et al. (2011); LOGANANDHAN et al. (2013) e MOHANTY et al. (2015), citados por AFONSO (2017), mostraram que o transplante de mudas para o campo e o sistema de plantio de minirrebolos em viveiros consistem em técnica agrícola sustentável, devido a elevar a produtividade e a reduzir o custo de produção de mudas de cana-de-açúcar. O sistema MPB utiliza aproximadamente 2 t ha<sup>-1</sup> de colmos, enquanto nos sistemas de plantio semimecanizado e mecanizado são necessários de 12 a 20 t ha<sup>-1</sup> (FRAGA JÚNIOR, 2015).

O sistema de produção de MPB consiste basicamente de seis etapas, conforme descrito por Landell et al. (2013) e Xavier (2014):

Estágio 1 - retirada dos colmos, corte e preparo dos minirrebolos; etapa em que ocorre a seleção das melhores gemas (Figura 4).



**Figura 04.** Corte de minirrebolos de cana-de-açúcar em guilhotina de lâmina dupla.

**Fonte:** Adaptado de XAVIER (2014).

Estágio 2 - tratamento de gemas: consiste em proteger os minirrebolos com fungicidas (Figura 5).



**Figura 05.** Imersão de minirrebolos de cana-de-açúcar em calda de fungicida.

**Fonte:** Adaptado de XAVIER (2014).

Estágio 3 - Brotação (10 a 15 dias DAP): os minirrebolos previamente selecionados e tratados devem ser acomodados em caixas de brotação ou em tubetes e

recobertos com substratos; deve-se garantir condições de umidade e de temperatura em câmara ou em casa de vegetação climatizada (Figura 6).



**Figura 06.** Distribuição e cobertura de minirrebolos de cana-de-açúcar em caixas plásticas para a brotação.

**Fonte:** Adaptado de XAVIER (2014).

Estágio 4 - individualização ou repicagem: plântulas das caixas de brotação são transferidas para tubetes com substratos e com fertilizantes com diferentes dinâmicas de liberação. Minirrebolos que não brotaram são imediatamente eliminados (Figura 7).



**Figura 07.** Processo de repicagem de plântulas de cana-de-açúcar para tubetes.

**Fonte:** Adaptado de XAVIER (2014).

Estágio 5 – fase I de aclimatação (cerca de 21 dias DAP): as plântulas são mantidas em casa de vegetação ou em viveiro telado, com controle de lâminas e turnos de irrigação definidos de acordo com o desenvolvimento das plantas e com as

condições de umidade do substrato; as plântulas são condicionadas à adaptação em ambiente com elevada umidade relativa do ar; ao final desta fase, ocorre a primeira poda, com intuito de estimular o desenvolvimento radicular e de evitar perdas de água (Figura 8) (LANDELL et al., 2013).



**Figura 08.** Aclimação de plântulas de cana-de-açúcar em ambientes controlados (fase I de aclimação em casa de vegetação ou viveiros telados).

**Fonte:** Adaptado de XAVIER (2014).

Estágio 6 – fase II de aclimação (cerca de 21 dias DAP): as plântulas são transferidas para bancadas ao pleno sol, com o intuito de adaptar as mudas às condições de campo. O controle de irrigação e o número de podas são intensificados (Figura 9).



**Figura 09.** Mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar em bancadas a pleno sol (fase II de aclimação).

**Fonte:** Adaptado de XAVIER (2014).

Os seis estágios são responsáveis pelo bom aproveitamento dos recursos nutricionais, hídricos e fitossanitários pelas plantas. O descuido ou irregularidade

nesses procedimentos acarretarão em MPBs de baixa qualidade, não atendendo as expectativas de expressão do potencial das mudas no campo (LANDELL et al., 2013).

Landell et al. (2013) e Afonso (2017) afirmaram que após um período de 60 dias, as plântulas podem ser transplantadas para o campo (Figura 10), com o plantio realizado de forma manual (Figura 11), através de matracas, ou de forma mecanizada (Figura 12), através de plantadeiras mecânicas e automatizadas.



**Figura 10.** Mudanças pré-brotadas de cana-de-açúcar com padrão satisfatório de vigor da parte aérea e de sistema radicular, aptas para o transplante no campo.

**Fonte:** Landell et al. (2013)



**Figura 11.** Plantio manual mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar com matracas.

**Fonte:** GAVA (2016)



**Figura 12.** Plantio mecanizado de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar.

**Fonte:** GAVA (2016)

## 2.5 Exigência nutricional da cana-de-açúcar

O conhecimento da exigência nutricional das culturas é fundamental para o aprimoramento das práticas de adubação. A quantidade de nutrientes extraídos do solo e exportados pelas plantas pode variar conforme a variedade, o ciclo de cultivo, o manejo de solo e a disponibilidade de nutrientes (CEOTTO & CASTELLI, 2002; COLETI et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2010).

Segundo Eberhardt et al. (1999), independentemente de as cultivares serem de uma mesma espécie, elas apresentam capacidade similares na absorção ou no acúmulo de um determinado nutriente, podendo ocorrer grande diferença entre elas na produção de biomassa, resultante de diferenças na eficiência nutricional.

Fageria et al. (1982) e Martinez et al. (1993), citados por Mendes (2006), constataram que a avaliação da eficiência de utilização dos nutrientes pode levar a diferenciação de cultivares, de modo que existe a possibilidade de selecionar cultivares adaptadas a diferentes condições de fertilidade de solo. Cavalcante & Prado (2010) afirmam que na agricultura ocorrem diversas situações que exigem inovações, e um dos pontos que se deve ter atenção especial é os aspectos dos ambientes. Prado (2008) afirma que os ambientes de produção de cana-de-açúcar

são considerados em função das condições físico-hídricas, morfológicas, químicas e mineralógicas dos solos, sob manejo adequado da camada arável em relação ao preparo; calagem; adubação; palha; controle de ervas daninhas e pragas; sempre associadas com as propriedades da subsuperfície dos solos e, principalmente, com o clima local (precipitação pluviométrica, temperatura, radiação solar, evaporação).

Inúmeros conceitos de eficiência nutricional têm sido relatados na literatura, os quais variam com o nutriente e a espécie de planta (MOURA et al., 2001). De acordo com Amaral et al. (2011), o termo “eficiência nutricional” é empregado para descrever a capacidade das plantas de absorver e de utilizar nutrientes, relacionada com a eficiência de absorção, de translocação e de utilização destes elementos. Para Moura et al. (2001), a eficiência de absorção está vinculada à taxa de absorção de nutrientes e pode ser refletida por parâmetros morfológicos, sobretudo os radiculares (comprimento ou massa de raiz). A eficiência dos mecanismos de absorção também está associada ao volume de substrato explorado pelo sistema radicular (AMARAL et al., 2011).

A eficiência nutricional pode ser calculada pelo coeficiente de utilização biológico (CUB), que consiste na razão entre a massa de matéria seca (MS) e o acúmulo de nutrientes (AN) (MENDES, 2006). Porém, Siddiqi & Glass (1981) defendem que a relação de eficiência de utilização de nutriente deve estar sempre relacionada com a produção, de forma a evitar a seleção de cultivares com alta relação de eficiência de utilização nutricional, mas de baixa produção. Dessa forma, os autores propuseram o índice de eficiência de utilização de nutriente (EUN) =  $MS/teor$ , em que MS é a massa da matéria seca da planta e o teor é a concentração do nutriente no tecido vegetal.

### **2.5.1. Diferença de exigência nutricional de cana-planta e cana-soca**

Para a obtenção de elevadas produtividades de um canavial, são considerados diversos fatores que podem influenciar direta ou indiretamente, destacando-se a correção do solo e a adubação (VITTI et al., 2015). A adequada nutrição da cultura é um dos aspectos responsáveis pela alta produtividade da cana-de-açúcar, levando em consideração a baixa fertilidade natural dos solos brasileiros (DIAS, 1997). Alvarez et al. (1991) consideram que a alta necessidade em nutrientes da cultura da cana-de-açúcar, decorrente da elevada produção de biomassa por

área e da remoção de uma grande parte dessa massa vegetal no processo da colheita, tem direcionado as pesquisas a uma revisão periódica das recomendações de adubação. Entretanto, poucos foram os trabalhos que avaliaram a extração e a exportação de nutrientes em cana-de-açúcar, principalmente utilizando variedades recentemente disponibilizadas aos produtores (PRADO et al., 2002; COLETI et al., 2006; MOURA FILHO, 2006).

De acordo com Sedyama et al. (2009) e com Souza et al. (2009), os resultados de pesquisas que avaliam as exigências nutricionais são de abrangência regional e de disseminação limitada. O estudo realizado por Orlando Filho (1993) sobre nutrientes extraídos e exportados pela cana-de-açúcar, em que foram estimadas as quantidades de macro (Tabela 1) e de micronutrientes (Tabela 2) necessárias para a produção de 100 t de colmos, ainda tem sido usado como referência.

**Tabela 1.** Extração e exportação de macronutrientes para a produção de 100 t de colmos de cana-de-açúcar.

Partes da planta	N	P	K	Ca	Mg	S
kg 100 t <sup>-1</sup>						
Colmos	83	11	78	47	33	26
Folhas	60	8	96	40	16	18
<b>Total</b>	<b>143</b>	<b>19</b>	<b>174</b>	<b>87</b>	<b>49</b>	<b>44</b>

**Fonte:** ORLANDO FILHO (1993)

**Tabela 2.** Extração e exportação de micronutrientes para a produção de 100 t de colmos de cana-de-açúcar.

Partes da planta	B	Cu	Fe	Mn	Zn
g 100 t <sup>-1</sup>					
Colmos	149	234	1.393	1.052	369
Folhas	86	105	5.525	1.420	223
<b>Total</b>	<b>235</b>	<b>339</b>	<b>6.918</b>	<b>2.472</b>	<b>592</b>

**Fonte:** ORLANDO FILHO (1993)

Segundo Vitti et al. (2015), é necessário diferenciar a exigência nutricional nos ciclos de cana-planta e de cana-soca. A adubação de cana-planta utiliza menor dose de nitrogênio, devido a contribuição da fixação biológica de N<sub>2</sub> do ar (*Gluconacetobacter diazotrophicus*), das reservas do tolete e da mineralização do N da matéria orgânica do solo. O oposto ocorre para as doses de fósforo e de

potássio. Na cana-soca, devido a menor mobilização do solo (consequentemente ocorre menor mineralização do N da matéria orgânica), assim como menor eficiência da fixação biológica, normalmente são aplicadas maiores doses de N. O potássio também é aplicado em altas doses, o que não ocorre com o fósforo, que é aplicado em doses menores.

Estudos realizados por Oliveira et al. (2010), avaliando extração e exportação de nutrientes no ciclo de cana-planta de onze variedades de cana-de-açúcar, cultivadas em Argissolo Amarelo distrófico abrupto no Estado de Pernambuco e sob irrigação plena, mostraram que, em média, a extração de nutrientes em TCH (tonelada de colmos por hectare) foi de 0,91; 0,13; 1,71; 1,18; e 0,44 kg de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente, proporcionando a seguinte ordem decrescente de extração de macronutrientes  $K > Ca > N > Mg > P$ . Tasso Junior et al. (2007) desenvolveram estudos similares para avaliar a extração de macronutrientes no ciclo de cana-planta de cinco variedades de cana-de-açúcar, cultivadas em Latossolo Vermelho Amarelo eutrófico típico na região centro-norte do Estado de São Paulo. A sequência de extração, avaliada nos colmos e na palhada, foi a seguinte:  $K > N > S > Mg > Ca > P$ . Os resultados de Tasso Júnior et al. (2007) e de Oliveira et al. (2010) mostram que a demanda nutricional pode estar associada à variedade e ao ambiente de cultivo, como admitido pelos conceitos atuais de ambientes de produção de cana-de-açúcar, que preconizam a adequação varietal ao zoneamento agroclimático e ao potencial dos solos.

### **2.5.2. Exigência nutricional de mudas pré-brotadas (MPB) de cana-de-açúcar**

O setor sucroalcooleiro tem buscado tecnologia inovadora no sistema de multiplicação da cana-de-açúcar. O sistema de multiplicação e de propagação por mudas pré-brotadas (MPB) tem sido uma das alternativas mais adotadas pelo setor (LANDELL et al., 2013; CAMPANA et al., 2016). Trata-se de uma prática recente, nova e desafiadora, principalmente para os produtores de mudas. Vários conceitos tradicionais de plantio tiveram que ser revistos e ainda há incertezas sobre o conjunto de técnicas mais adequado que otimizam o novo processo. Porém, é evidente que o sistema de produção e de plantio de MPBs necessita de tecnologias de produção mais eficientes, especialmente no que se refere a nutrição mineral das

plântulas. A brotação das MPBs ocorre em ambientes controlados, a partir do minirrebolo de gema única. O minirrebolo possui reserva nutricional limitada e a nutrição da plântula ocorre por adubações foliares e no substrato, cujos protocolos quanto à doses, fontes, épocas e modos de aplicação ainda não estão devidamente definidos. O transplântio da MPB no campo pode significar um evento de estresse intenso para a plântula, uma vez que não contará com as reservas do tolete (BATAGLIA et al., 2008). Há expectativa de que o sistema radicular adequadamente formado garanta a sobrevivência da muda. Câmara (1993), citado por Araújo (2016), afirmou que diversos cuidados devem ser tomados para garantir um bom estabelecimento da brotação, dentre eles, o estado nutricional da planta, que tem por função direta em seu sistema radicular, facilitando e proporcionando a absorção de água e de nutrientes do ambiente que está sendo cultivado, proporcionado indiretamente a brotação, coloração verde, reflexo de uma excelente capacidade fotossintética (RIPOLI et al, 2007).

Ainda há muita dificuldade para estabelecer um padrão para a qualidade das MPBs e, até o momento, não há critérios ou indicativos de estudos sobre o assunto em referências bibliográficas. Admite-se, porém, que a compreensão das necessidades nutricionais da muda, o que inclui a demanda quantitativa de nutrientes, a concentração de nutrientes no tecido vegetal das plântulas e o balanço nutricional para se evitarem deficiências, excessos e desequilíbrios, que geralmente atrasam a produção de biomassa e geram distúrbios fisiológicos, devam ser fatores preponderantes no estabelecimento do padrão (BATAGLIA et al., 2008), que deve estar associado à um parâmetro biométrico de aferição mais facilitada, como biomassa, altura ou diâmetro do colmo. Sabe-se que no plantio convencional, as reservas dos toletes são imprescindíveis nas fases iniciais de brotação (SIMÕES NETO, 1986; CARNEIRO et al., 1995), mas no processo de produção das MPBs não está esclarecida a importância das reservas dos minirrebolos quanto ao suprimento de nutrientes e de água

#### **2.5.2.1. Opções de ofertas de nutrientes para mudas pré-brotadas (MPB) de cana-de-açúcar**

A oferta de nutrientes é de grande importância para o estabelecimento e vigor das plantas. A prática da adubação tem por objetivo fornecer todos os

elementos essenciais, sem os quais a planta não completa seu ciclo vital. Essa prática visa, além do desenvolvimento da planta, um acelerado crescimento, reduzindo custos de produção e possibilitando menor período de tempo nos viveiros (MALAVOLTA, 1980; LANDELL et al., 2013).

O manejo da adubação no sistema de produção de MPBs deve ocorrer de forma cautelosa, devido ao pequeno volume ocupado pelas raízes quando comparado a mudas que se desenvolvem em estado natural, por serem plantadas geralmente em recipientes com volumes restritivos para raízes, como ocorre no caso de tubetes (LANDELL et al., 2013). Preocupados com esse tipo de problema, Raij et al. (1996) explicam que é necessário evitar a utilização de fertilizantes de alta salinidade, pois o excesso de sais pode levar a morte de tecidos radiculares.

Landell et al. (2013) afirmam que uma das opções de solução desse problema seria o parcelamento das adubações, através de repetidas aplicações em curtos períodos de tempo, principalmente de nitrogênio e de potássio. O Programa Cana IAC recomenda a associação de diversos meios de oferta de nutrientes, tais como: aplicação de adubos minerais simples e composto, fertilizantes de liberação lenta e controlada, fertilizantes foliares, fertirrigação, prática de parcelamento da adubação e substrato.

Os fertilizantes de liberação lenta e controlada são formados por grânulos envoltos por resinas orgânicas ou por polímeros sintéticos que tem por função controlar a saída dos nutrientes para o meio, através da umidade, que penetra na resina ou no polímero que envolve o fertilizante, solubilizando os nutrientes em seu interior. A liberação é feita de forma gradual e diretamente proporcional à temperatura e à umidade do substrato, sendo mais rápida na medida em que a temperatura e umidade se elevam (SGARBI et al., 1999).

#### **2.5.2.1.1. Substrato**

A brotação e o desenvolvimento inicial de gemas de cana-de-açúcar sofrem influências de diversos fatores. Dentre eles, destaca-se o substrato, ou seja, o meio no qual os minirrebolos são colocados para brotar e que regula a disponibilidade de nutrientes (SIMÕES NETO, 1986).

Em sistema de plantio convencional ou mecânico, o solo é o meio utilizado para a brotação de gemas de cana-de-açúcar. No sistema de produção de

MPB, a brotação se dá em substratos, sendo uma combinação de dois ou de mais componentes, com o intuito de alcançar propriedades químicas e físicas adequadas para que ocorra o processo de brotação (XAVIER et al., 2014). De acordo com Zorzeto (2011), o substrato para as plantas é utilizado com o intuito de substituir o solo no cultivo, servindo de suporte para mudas, ancoragem para as raízes e o fornecimento de quantidades equilibradas de ar, água e nutrientes. A necessidade da substituição do solo pelo substrato aconteceu pela necessidade de transporte e de transplante de plantas (ABAD et al., 1993).

Um substrato desejável deve possuir características físicas e químicas adequadas, com proporções suficientes de ar, água e nutrientes necessários ao crescimento e desenvolvimento das plantas. Dentre as características desejáveis estão o pH adequado, baixas a moderadas concentrações de sais, baixa densidade e boa porosidade, facilidade de manuseio e uniformidade na composição, elevada capacidade de troca de cátions, boa capacidade de retenção de água e de nutrientes que proporcionem um bom arejamento para o sistema radicular, ser isento de sementes de plantas invasoras, doenças, pragas e elementos tóxicos, boa aderência junto as raízes, abundante e economicamente viável (CARMELO et al., 1994; JOHNSON et al., 2010; XAVIER et al., 2014; MARCO, 2017).

De acordo com Milner (2001), as características físicas podem ser mais limitantes do que as características químicas, uma vez que não são possíveis de mudanças ao longo do processo de produção das mudas. Fermino (2002) explica que o manejo adequado do substrato deve considerar principalmente a granulometria, a porosidade e a curva de retenção de água. Para o desenvolvimento de MPB, a densidade base seca deve ser de 0,1 a 0,3 kg m<sup>-3</sup>, espaço de aeração de 20 a 30% e água facilmente disponível (30 a 40%) (XAVIER et al., 2014).

As características químicas estão relacionadas com o índice salino, o pH e a CTC. O índice salino indicado para a produção de MPB deve estar entre 0,36 a 0,65 dS m<sup>-1</sup> (a 25°C), determinado pelo método de extração 1:5, ou de 0,76 a 1,25 dS m<sup>-1</sup>, pelo método 1:2. O pH do substrato deve estar em torno de 5,5 a 6,5, para que não ocorra indisponibilidade ou toxidez de nutrientes para a planta. A CTC sugerida varia de 500 a 1000 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> (XAVIER et al., 2014; MARCO, 2017).

A combinação das propriedades do substrato com as práticas de cultivo e com a adequada oferta de nutrientes, tanto via substrato quanto via adubação, determina a qualidade das mudas pré-brotadas (MARCO, 2017).

### **3. OBJETIVOS**

Partindo do pressuposto que o sistema de produção de mudas pré-brotadas (MPB) de cana-de-açúcar é uma prática moderna e ainda pouco conhecida, o objetivo geral deste trabalho consistiu em avaliar a influência de diferentes substratos nas características morfológicas e na eficiência nutricional de uso de macronutrientes primários de MPBs de diferentes variedades de cana-de-açúcar.

#### **3.1 Objetivos específicos:**

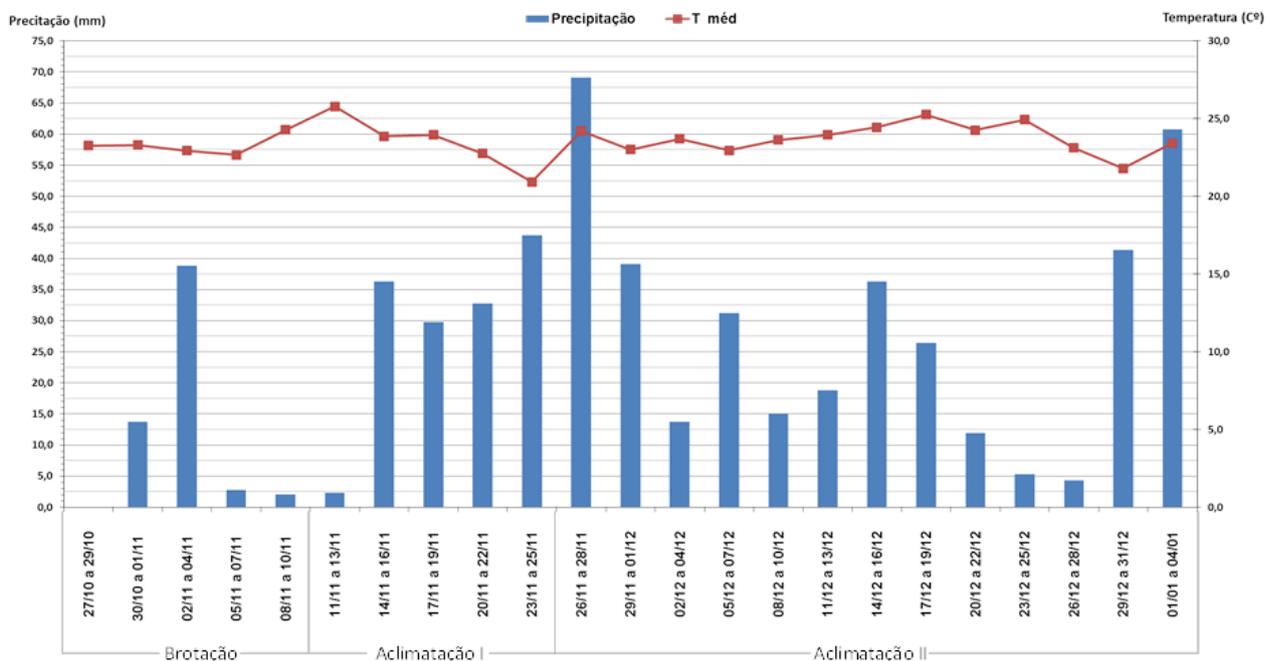
- Identificar quais parâmetros biométricos são mais adequados para indicar a qualidade das mudas;
- Avaliar qual(is) a(s) característica(s) do substrato que mais afeta(m) o desenvolvimento das mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar;
- Avaliar se o desenvolvimento das mudas pré-brotadas está associado à variedade de cana-de-açúcar.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nas dependências do Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-Açúcar (PMGCA) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), situado no município de Araras-SP (latitude 22°18'S e longitude 47°23'O; 690 m de altitude). Conforme a classificação de Köppen, o clima local é do tipo Cwa, mesotérmico com verões quentes e úmidos e invernos secos, com precipitação anual média de 1.430 mm e temperatura média anual de 21,45°C.

As informações climáticas registradas de outubro de 2015 a janeiro de 2016, período de condução do experimento (Figura 13), foram coletadas junto à Estação Meteorológica Automática-EMA do Centro de Ciências Agrárias-CCA-UFSCar.

**Figura 13.** Informações climáticas mensais de precipitação pluvial (mm) e temperatura média (°C) registradas durante as fases de produção de mudas pré-brotadas (MPB) de cana-de-açúcar.



### 4.1 Substrato

As mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar foram cultivadas em três substratos comerciais (S1, S2 e S3), em areia lavada (A) e em areia lavada+solução nutritiva (A+S). De acordo com os fabricantes, os substratos apresentam a seguinte composição:

- a) S1 - areia, calcários calcítico e dolomítico, carvão vegetal, casca de pinus, nitrato de amônio, sulfato ferroso, superfosfato simples e vermiculita;
- b) S2 - casca de coco, casca de pinus e vermiculita;
- c) S3 - areia, casca de pinus, nitrato de amônio, rocha calcária, superfosfato simples e vermiculita.

A Tabela 3 contém algumas características químicas e físicas dos substratos comerciais.

**Tabela 3.** Características químicas e físicas dos substratos comerciais utilizados no cultivo de mudas pré-brotadas (MPB) de cana-de-açúcar.

Substrato	<sup>1</sup> pH	C	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	SO <sub>4</sub>	<sup>2</sup> CTC <sub>t</sub>	<sup>3</sup> CE	<sup>4</sup> Dens	<sup>5</sup> Umid	<sup>6</sup> CRA
		----- % -----								mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	dS m <sup>-1</sup>	kg m <sup>3</sup>	----- % -----
<b>S1</b>	5,6	34,2	0,8	3,1	1,9	8,8	1,5	1,3	208,2	0,7	310	44	140
<b>S2</b>	4,7	31,2	0,9	0,7	1,2	1,0	0,2	2,9	84,4	0,8	328	58	146
<b>S3</b>	5,1	34,3	0,8	0,5	1,0	1,1	0,2	0,8	78,5	0,6	315	55	132

<sup>1</sup>pH medido em água (relação substrato:água 1:2,5); <sup>2</sup>capacidade de troca de cátions total; <sup>3</sup>condutividade elétrica (relação substrato:água 1:5); <sup>4</sup>densidade; <sup>5</sup>umidade; <sup>6</sup>capacidade de retenção de água.

#### 4.2 Variedades de cana-de-açúcar

Os minirrebolos de cana-de-açúcar com gema única foram fornecidos pelo Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-Açúcar da UFSCar (PMGCA-UFSCar). As variedades de cana-de-açúcar foram escolhidas em função do período de maturação e por constarem dentre as cinco variedades mais plantadas no Estado de São Paulo, de acordo com o Censo Varietal 2015 (CHAPOLA et al., 2015; DAROS et al., 2015) realizado pelo PMGCA/UFSCar. As principais características das variedades são:

- a) **RB966928:** apresenta excelente brotação em cana-planta, muito boa brotação em soqueiras e alto perfilhamento em cana-planta e em cana-soca, com excelente fechamento de entrelinhas. Apresenta alta produção agrícola, PUI (Período de Utilização Industrial) médio e maturação precoce a média.
- b) **RB867515:** apresenta desenvolvimento rápido, hábito de crescimento ereto, de média despalha, diâmetro de colmo médio, alto teor de sacarose, alta produtividade agrícola e maturação média a tardia. É responsiva a aplicação de maturador, podendo ser colhida em início de safra. Tem excelente desenvolvimento, inclusive em solos com textura arenosa, com boa brotação nos ciclos planta e socas.

**c) RB92579:** apresenta desenvolvimento inicial lento, entrenós de comprimento e diâmetro médios, gemas pouco salientes e maturação média a tardia. Tem ótimo perfilhamento e brotação de soqueira, alta produtividade agrícola, elevado ATR (Açúcar Total Recuperável), possui rápida recuperação ao estresse hídrico (seca).

### 4.3 Instalação e condução do experimento

Para a produção das mudas pré-brotadas, foi utilizada a metodologia proposta pelo IAC (Instituto Agronômico de Campinas) (LANDELL et al., 2013; XAVIER, 2014), com adaptações nutricionais pelo PMGCA (Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar).

De acordo com Lee et al (1986) e Lee e Silva (1987) recomendam-se usar mudas de cana-planta com 8-10 meses de idade, ou no máximo 12 meses, para evitar falhas na germinação. Devido não haver disponibilidade de material com essa idade fisiológica, foram selecionados em viveiros primários colmos das variedades de cana-de-açúcar, com idade fisiológica de quatorze meses (meses após plantio), com posterior eliminação das extremidades (ponta e pé) para minimizar a ocorrência de dominância apical e a diferença na brotação entre as gemas (Figura 14).



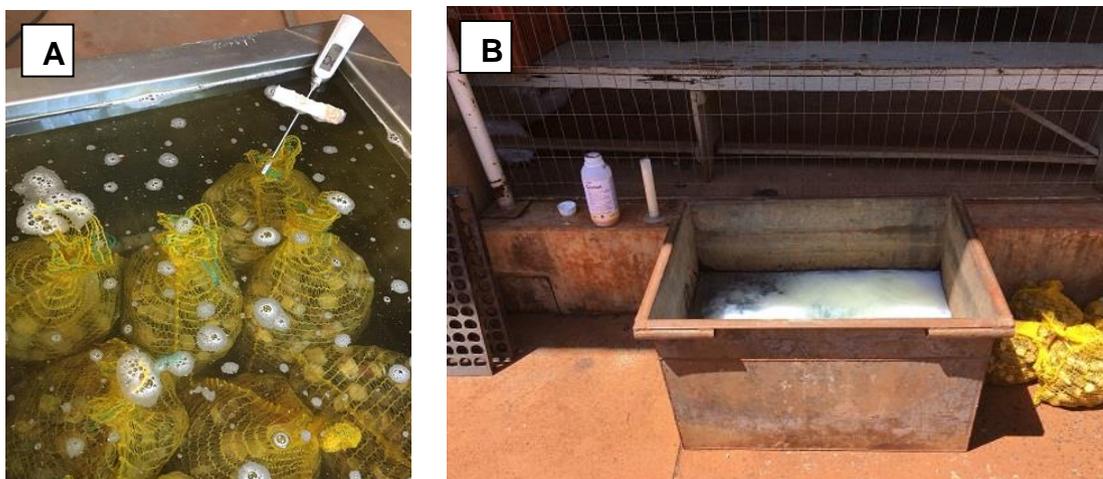
**Figura 14.** Seleção e limpeza de colmos de cana-de-açúcar com idade de 14 meses, realizados por funcionários do PMGCA/UFSCar.

Um sistema de guilhotina de lâmina dupla foi utilizado para corte e preparação de minirrebolos de 3 cm. Posteriormente, houve a seleção das melhores gemas com o intuito de eliminar do processo os minirrebolos com sintomas de *Diatraea saccharalis* e com eventuais danos mecânicos das gemas, potencializando as etapas posteriores (Figura 15).



**Figura 15.** Sistema de guilhotina para corte de minirrebolos de cana-de-açúcar (a) e seleção das melhores gemas (b).

Para controle fitossanitário, os minirrebolos foram submetidos à tratamento térmico, a 52°C por 30 minutos, e à imersão em calda do fungicida a base de Piraclostrobina (Comet<sup>®</sup>), por 10 minutos (Figura 16).



**Figura 16.** Tratamento térmico (a) e com fungicida a base de piraclostrobina (comet<sup>®</sup>) (b) de minirrebolos das variedades de cana-de-açúcar.

Após o processo de controle fitossanitário, os minirrebolos foram distribuídos em caixas plásticas e cobertos com os substratos para a fase de brotação (Figura 17).



**Figura 17.** Minirrebolos de cana-de-açúcar distribuídos em caixas plásticas de brotação e cobertos com os substratos.

Em seguida, as caixas foram mantidas em casa-de-vegetação climatizada a 30°C podendo haver variações de 28°C a 32 °C por 15 dias (Figura 18), sob controle rigoroso de temperatura e de umidade, com molhamento suficiente para garantir o processo de pré-brotação (LANDELL et al., 2013).



**Figura 18.** Caixas de brotação com minirrebolos de cana-de-açúcar, mantidas em casa de vegetação com controle rígido de temperatura e de umidade.

Após esse período, as plântulas foram individualizadas em recipientes plásticos de 180 mL, contendo os diferentes substratos (Figura 19), e transferidas para viveiro telado, onde permaneceram na primeira fase de aclimação I por 15

dias (Figura 20). As lâminas e turnos de irrigação foram definidos de acordo com o desenvolvimento das plantas e com as condições de umidade do substrato (LANDELL et al., 2013).



**Figura 19.** Processo de individualização de plântulas de cana-de-açúcar.



**Figura 20.** Plântulas de cana-de-açúcar em viveiro telado (fase de aclimação I).

Aos trinta dias após o plantio (DAP), as mudas de cana-de-açúcar foram conduzidas para o pátio de aclimação II (Figura 21) e colocadas sobre bancadas a pleno sol, onde cumpriram a segunda fase de aclimação por 40 dias. Durante esta fase, o controle de irrigação foi feito com pelo menos quatro turnos de rega totalizando aproximadamente 4 mm/dia. Operações de poda, normalmente realizadas nas fases I e II de aclimação, não foram executadas de forma a manter a biomassa para aferição no final do experimento.



**Figura 21.** Plântulas de cana-de-açúcar em pátio a pleno sol (fase de aclimação II).

#### 4.4 Adubação

As plântulas cultivadas nos substratos comerciais (S1, S2 e S3) receberam individualmente no período de aclimação II, uma fertirrigação semanal composta por 32 mL de água, 13 mg de nitrato de cálcio (15 % de N e 19% de Ca), 16,1 mg de nitrato de potássio (12% de N e 45% de K<sub>2</sub>O), 5,8 mg de fosfato monoamônico (MAP, 12% de N e 60% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 4,85 mg de sulfato de magnésio (19,9% de S e 9% de Mg), distribuída através do sistema de irrigação por aspersão. As plântulas cultivadas em areia + solução nutritiva (A+S) receberam semanalmente após o período de brotação a quantia de 10 mL da solução nutritiva proposta por *Hoagland & Arnon (1950)*, adaptada para as necessidades de cana-planta (COMETTI et al., 2006), contendo as seguintes concentrações (g L<sup>-1</sup>): N – 3,7; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 8,8; K<sub>2</sub>O – 7,4; Ca – 29,4; Mg – 9,4; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> – 0,8.

#### 4.5 Avaliação dos parâmetros biométricos e nutricionais

Aos 70 dias (DAP), as mudas foram avaliadas quanto aos seguintes parâmetros biométricos (BENINCASA, 2003) e nutricionais:

**a)** Altura de muda (H, cm): medida com régua graduada a partir da região do coleto, rente ao substrato, até o primeiro diulep.

**b)** Diâmetro do colmo ( $\emptyset$ , mm): diâmetro no terço médio do colmo, empregando-se paquímetro analógico.

**c)** Matéria seca da parte aérea (MSPA) e da raiz (MSR) (g): Todos os materiais tanto de parte aérea quanto de raízes foram acondicionados em sacos de papel e colocados para secar em estufa de circulação e renovação de ar forçado a 65°C, até atingirem massa constante.

**d)** Análise química de tecido vegetal: amostras da parte aérea total das plântulas, coletadas no final da fase de aclimatação II (70 DAP) para a determinação da massa seca, foram trituradas em moinho tipo Willey (malha de 2 mm) e submetidas à digestão sulfúrica, para extração de N, e nítrico-perclórica, para a extração dos demais macronutrientes (EMBRAPA, 1997). A determinação analítica ocorreu por: N - semimicro-Kjeldahl; P - colorimetria do metavanadato; K - fotometria de chama de emissão (RAIJ et al., 2001).

**e)** Eficiência de utilização (EU) de N, P e K: foi calculada pelo índice proposto por Swiader et al. (1994), definido pela expressão:

$$\text{Eficiência de utilização} = \frac{\text{MSPA}}{\text{Nutriente na planta}}$$

em que:

MSPA representa a massa seca da parte aérea (g)

teor de nutrientes em kg kg<sup>-1</sup> de massa seca da parte aérea

#### 4.6 Índice de qualidade de mudas pré-brotadas (MPB)

Em função da inexistência de indicadores de qualidade de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar, optou-se pelo cálculo do índice de qualidade de mudas de Dickson (IQD), segundo metodologia proposta por Dickson et al. (1960), através da relação:

$$IQD = \frac{(MSPA + MSR)}{(RAD + RPAR)}$$

em que:

RAD representa a relação altura de muda/diâmetro do colmo;

RPAR representa a relação MSPA/MSR.

#### **4.7 Delineamento experimental e análise estatística**

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente ao acaso, em esquema fatorial 5 (substratos) x 3 (variedades), com cinco repetições, composta de 20 plântulas cada uma. Os resultados foram submetidos à análise de variância e, quando significativos pelo teste F ( $p < 0,05$ ), foram desdobrados para comparação das médias dos tratamentos pelo teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

A relação entre as variáveis biométricas e nutricionais e o índice de qualidade de Dickson foi verificada pela análise de correlação de *Pearson*, considerando a significância dos coeficientes pelo teste t ( $p < 0,05$  e  $p < 0,01$ ).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros biométricos (altura,  $\varnothing$  de colmo, MSPA e MSR), assim como o índice de qualidade de Dickson (IQD) e a eficiência de utilização de N, foram determinados pelo efeito da interação entre o substrato e a variedade. As eficiências de utilização de P e de K puderam ser explicadas tanto pelo substrato quanto pela variedade (Tabela 4).

**Tabela 4.** Análise de variância de parâmetros biométricos, de índice de qualidade da muda e de eficiência nutricional de mudas pré-brotadas de variedades de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes substratos.

Tratamento	Altura	$\varnothing$ colmo	MSPA	MSR	IQD	EUN	EUP	EUK
	(cm)	(mm)	(g planta <sup>-1</sup> )	(g planta <sup>-1</sup> )		kg kg <sup>-1</sup>		
Substrato (S)	727,64**	350,51**	350,51**	6,60**	10,69**	102,08**	16,61**	16,95**
Teste F Variedade (V)	13,37**	82,96**	82,96**	3,83*	1,31 <sup>ns</sup>	70,84**	14,76**	6,62**
S x V	6,62**	6,10**	6,10**	5,58**	3,86**	5,26**	1,05 <sup>ns</sup>	0,84 <sup>ns</sup>
<b>CV (%)</b>	<b>3,80%</b>	<b>5,22%</b>	<b>6,83%</b>	<b>30,62%</b>	<b>27,20%</b>	<b>10,44%</b>	<b>39,04%</b>	<b>52,64%</b>

$\varnothing$  - diâmetro; MSPA - massa seca da parte aérea; MSR - massa seca das raízes; IQD - índice de qualidade de Dickson; EUN - eficiência de utilização do nitrogênio; EUP - eficiência de utilização do fósforo; EUK - eficiência de utilização do potássio; ns: não significativo; \*significativo a 5%; \*\*significativo a 1%.

A tabela 5 contém os valores médios dos parâmetros biométricos, de índice de qualidade da muda e de eficiência nutricional de mudas pré-brotadas de variedades de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes substratos.

**Tabela 5.** Parâmetros morfológicos, eficiência de utilização de N-P-K e índice de qualidade de Dickson (IQD) de mudas de variedades de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes tipos de substratos.

Substratos	Altura (cm)	Ø colmo (mm)	MSPA g planta <sup>-1</sup>	MSR g planta <sup>-1</sup>	IQD	EUN	EUP kg kg <sup>-1</sup>	EUK
<b>RB92579</b>								
A	10,88 dB	4,73 cB	2,22 bA	12,24 bA	5,83 bA	0,31 bA	3,45	0,43
S1	18,61 bA	7,93 bB	4,22 aA	19,38 aA	9,22 aA	0,48 aA	2,62	0,23
S2	20,12 aA	7,47 cA	4,28 aA	16,87 aA	7,19 aA	0,50 aA	1,64	0,17
S3	19,46 aA	10,16 aA	4,28 aA	7,82 cB	4,93 bA	0,47 aA	1,88	0,16
A+S	11,83 cA	5,32 dB	1,88 cA	7,38 cA	3,74 bA	0,23 cA	2,82	0,26
<b>Média</b>	<b>16,18 a</b>	<b>7,12 a</b>	<b>3,38 a</b>	<b>12,74 a</b>	<b>6,18 a</b>	<b>0,40 a</b>	<b>2,48 a</b>	<b>0,25 a</b>
<b>RB966928</b>								
A	10,41 bB	4,97 dB	1,82 cB	10,33 aA	6,31 aA	0,23 cB	2,07	0,33
S1	19,13 aA	6,78 bC	3,18 bB	10,74 aB	7,52 aA	0,29 bC	0,77	0,04
S2	18,23 aB	6,98 bA	3,15 bC	11,94 aB	7,18 aA	0,31 bC	0,71	0,05
S3	18,60 aB	7,78 aB	3,62 aC	12,30 aA	4,00 bA	0,39 aB	0,99	0,08
A+S	10,54 bB	6,06 cA	1,62 cB	6,97 aA	4,34 bA	0,17 dB	2,08	0,22
<b>Média</b>	<b>15,38 b</b>	<b>6,51 b</b>	<b>2,68 b</b>	<b>10,45 b</b>	<b>5,87 a</b>	<b>0,28 c</b>	<b>1,32 b</b>	<b>0,14 b</b>
<b>RB867515</b>								
A	12,11 cA	6,63 cA	2,39 cA	12,64 aA	7,41 aA	0,30 bA	3,54	0,30
S1	18,14 bA	9,60 aA	4,33 aA	9,15 bB	5,69 aB	0,42 aB	1,37	0,10
S2	18,70 bB	7,22 bA	3,84 bB	8,39 bB	4,01 bB	0,39 aB	1,24	0,13
S3	19,58 aA	7,42 bB	3,97 bB	14,18 aA	6,21 aA	0,42 aB	1,37	0,11
A+S	11,98 cA	5,60 dB	2,08 dA	7,51 bA	3,96 bA	0,23 cA	3,06	0,32
<b>Média</b>	<b>16,1 a</b>	<b>7,29 a</b>	<b>3,32 a</b>	<b>10,37 b</b>	<b>5,46 a</b>	<b>0,35 b</b>	<b>2,12 a</b>	<b>0,19 b</b>
<b>Média dos Substratos</b>								
A	<b>11,13 C</b>	<b>5,44 D</b>	<b>2,14 C</b>	<b>11,74 A</b>	<b>6,51 A</b>	<b>0,28 C</b>	<b>3,02 A</b>	<b>0,35 A</b>
S1	<b>18,63 B</b>	<b>8,10 B</b>	<b>3,91 A</b>	<b>13,09 A</b>	<b>7,48 A</b>	<b>0,40 B</b>	<b>1,58 B</b>	<b>0,12 C</b>
S2	<b>19,02 A</b>	<b>7,22 C</b>	<b>3,76 B</b>	<b>12,40 A</b>	<b>6,12 A</b>	<b>0,40 B</b>	<b>1,20 B</b>	<b>0,12 C</b>
S3	<b>19,21 A</b>	<b>8,45 A</b>	<b>3,96 A</b>	<b>11,43 A</b>	<b>5,05 B</b>	<b>0,43 A</b>	<b>1,41 B</b>	<b>0,12 C</b>
A+S	<b>11,45 C</b>	<b>5,66 D</b>	<b>1,86 D</b>	<b>7,29 B</b>	<b>4,01 B</b>	<b>0,21 D</b>	<b>2,65 A</b>	<b>0,27 B</b>

Comparação de médias pelo teste Scott-Knott a 5% de significância: letras maiúsculas comparam substratos dentro de cada variedade e média dos substratos; letras minúsculas comparam variedades dentro de cada substrato e média das variedades.

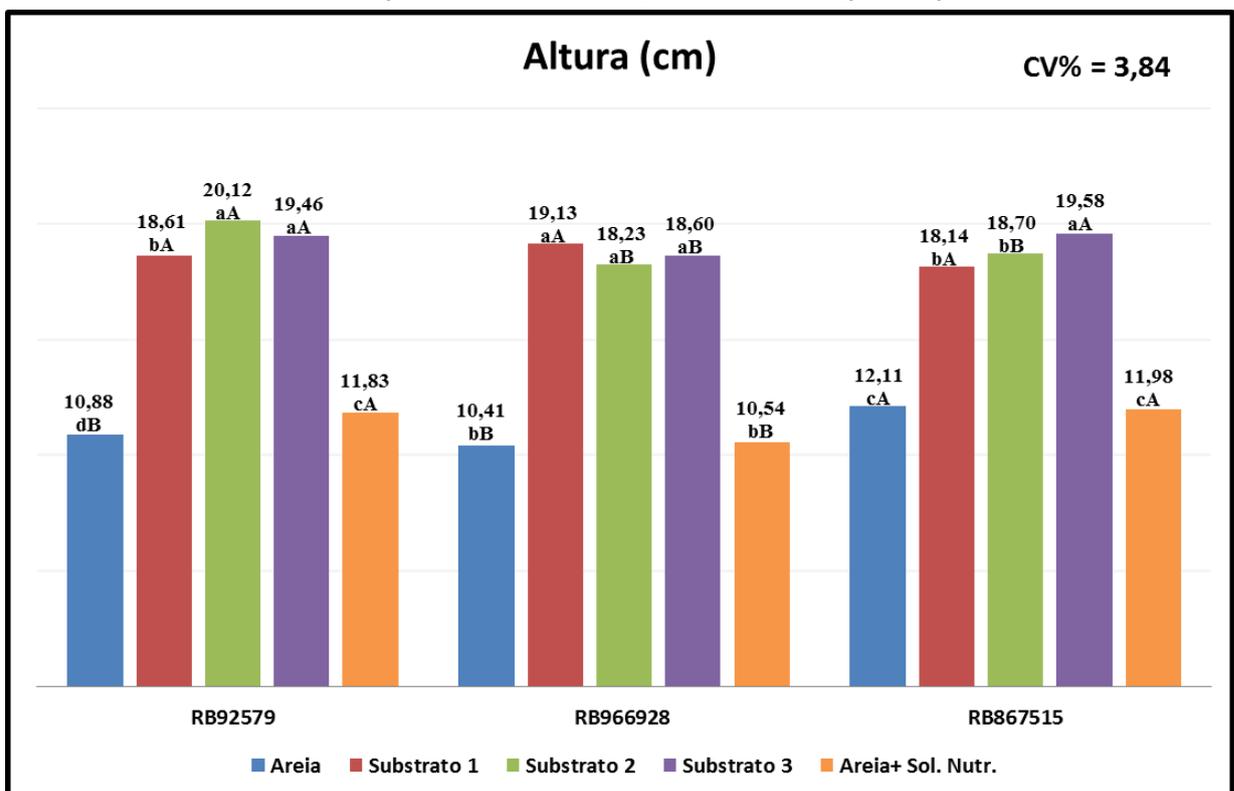
## 5.1 Avaliações biométricas

### 5.1.1. Altura de plantas

A altura da parte aérea foi influenciada pela interação entre os substratos e as variedades e foi o parâmetro biométrico que apresentou o menor coeficiente de variação (3,80%) (Tabela 4). De acordo com Serafim et al. (2012) e com Landell et al. (2013), a brotação e o desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar são fases mais suscetíveis ao efeito combinado dos fatores ambientais, genéticos, fisiológicos (variedade, idade, tamanho e sanidade das gemas) e fitotécnicos, o que inclui a natureza e as propriedades dos substratos empregados no sistema de produção de mudas.

As maiores médias foram observadas em mudas da variedade RB92579 (20,12 cm e 19,46 cm), quando cultivadas nos substratos S2 e S3, respectivamente, e pela variedade RB867515 (19,58 cm), cultivada no substrato S3. Em contrapartida, a variedade RB966928 apresentou maiores médias de altura nos três substratos (19,13 cm, 18,23 cm e 18,60 cm) (Figura 22).

**Figura 22.** Altura (cm) de mudas pré-brotadas de variedades de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes tipos de substratos, aos 70 dias após o plantio.



Letras maiúsculas comparam as variedades no mesmo substrato e letras minúsculas comparam uma variedade em todos os substratos, pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

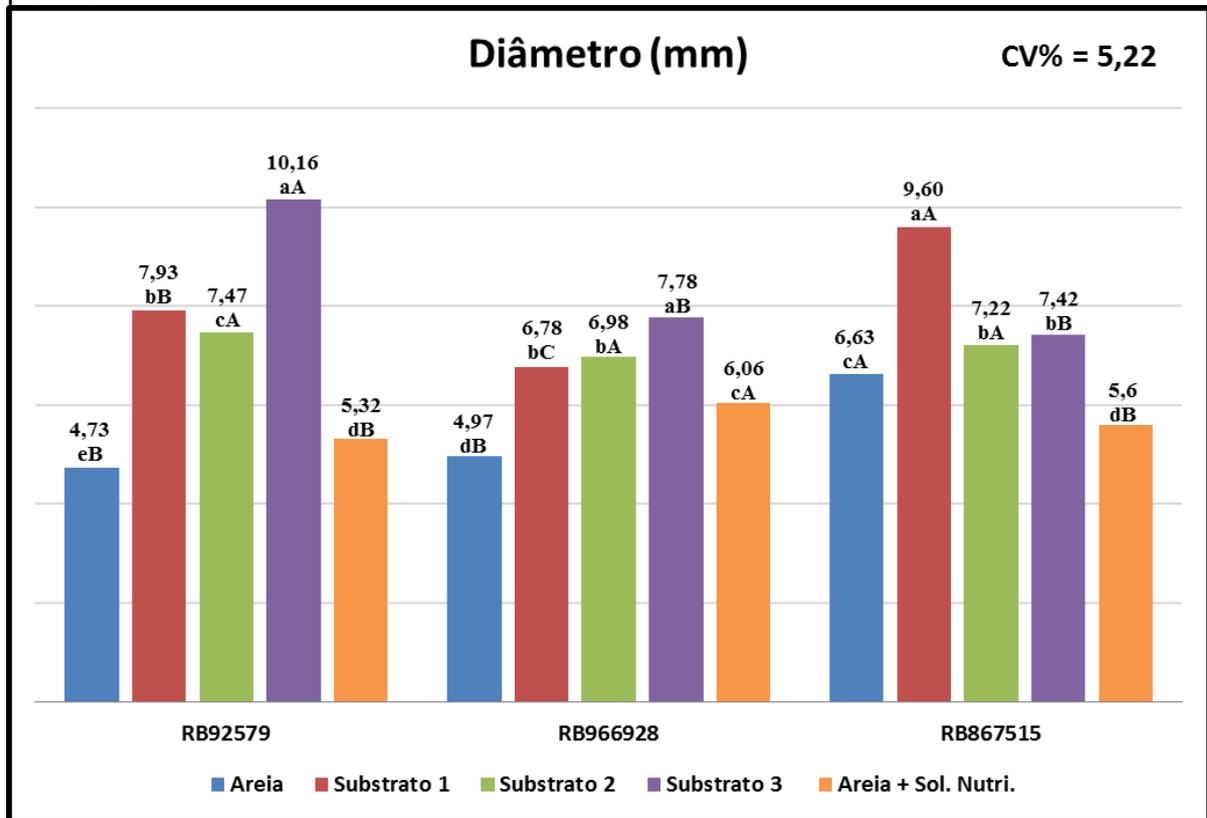
Ainda que a altura das plantas seja um parâmetro de desenvolvimento vegetal normalmente atribuído aos fatores intrínsecos da variedade (GARCIA, 2016), as propriedades físicas e químicas dos substratos estão dentre os importantes fatores que interferem no desenvolvimento das mudas pré-brotadas (OHASHI et al., 2016). Em estudos testando quatro tipos de substrato com diferentes composições e com quatro diferentes granulometrias (1, 5, 6,5 e 12 mm), Xavier et al. (2016) observaram maior desenvolvimento de MPB em altura no substrato com granulometria 1 mm (15,27 cm aos 35 DAP) e no substrato com granulometria 6,5 mm (24,70 cm aos 56 DAP). Diferenças significativas na altura de mudas pré-brotadas foram observadas por De Marco et al. (2016), que avaliaram o desenvolvimento inicial das MPB em substratos produzidos com resíduos agroenergético (torta de tungue), casca de arroz carbonizada e composto orgânico. Oliveira et al. (2014) estudaram o padrão de qualidade de mudas de seis espécies de eucalipto, produzidas em substratos com diferentes proporções de resíduos orgânicos e vermiculita. O substrato produzido a partir de fibra de côco (25%) e vermiculita fina (75%) apresentou resultados superiores em relação à casca de arroz carbonizada para vários parâmetros biométricos, incluindo a altura da parte aérea. As mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar cultivadas em substrato a base de casca de coco apresentaram bom desenvolvimento em altura, independentemente da variedade (Figura 22), provavelmente por contribuir com um bom desenvolvimento radicular e retenção de água (SILVA et al., 2012).

### **5.1.2. Diâmetro do colmo**

Da mesma forma que a altura, o diâmetro do colmo das mudas foi definido pela interação entre os efeitos dos substratos e das variedades. Este parâmetro também apresentou baixo coeficiente de variação (5,22%) (Tabela 4).

As mudas das variedades RB92579 e RB966928 apresentaram as maiores médias de diâmetro (10,16 mm e 7,78 mm) quando cultivadas no substrato S3, enquanto a variedade RB867515 alcançou a maior média significativa (9,60 mm) quando cultivada no substrato S1 (Figura 23).

**Figura 23.** Diâmetro (mm) de colmos de mudas pré-brotadas de variedades de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes tipos de substratos, aos 70 dias após o plantio.



Letra maiúscula compara as variedades no mesmo substrato e letra minúscula compara uma variedade em todos os substratos, pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Os resultados podem estar relacionados com o pH dos substratos S1 e S3, cujos valores variam de 5,1 a 5,6. Segundo Abad (1992) e Cavins et al. (2000), o pH do substrato deve estar entre 5,2 e 6,3, com o intuito de evitar a indisponibilidade ou a toxidez de nutrientes as plantas. Kampf (2000) afirmou que a faixa ideal do pH do substrato deve estar entre 4,5 e 6,0 para a disponibilidade adequada de nutrientes e para a plena atividade dos micro-organismos do substrato, que por sua vez podem influenciar diversos fatores benéficos às plantas tais como a biossolubilização de nutrientes e a bioproteção contra patógenos.

Gazola et al. (2017) avaliaram a influência das adubações químicas e orgânicas, associadas a diferentes tipos de substratos, na formação de mudas em sistema MPB. Os maiores diâmetros de colmos foram observados nas mudas cultivadas em substratos a base de esfagno (31%), vermiculita (10%) e casca de arroz carbonizada (9%). Esses resultados podem subsidiar a interpretação da Figura 23, apontando que a composição dos substratos S1 e S3 deve ter proporcionado os maiores resultados de diâmetro, obtidos para a variedade RB966928 (7,78 mm),

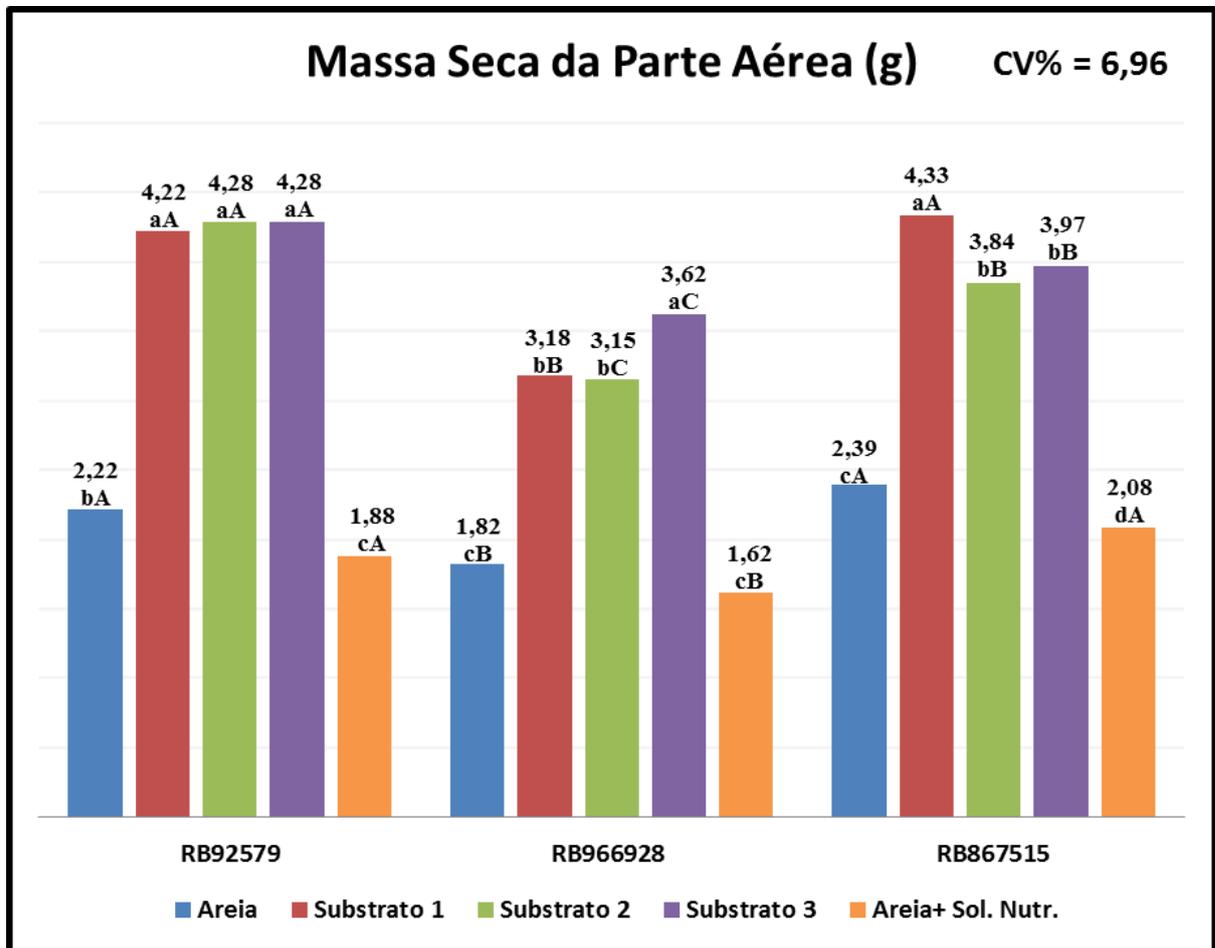
cultivada em substrato 3, e para a variedade RB867515 (9,6 mm), cultivada em substrato 1. Lima (2016) também notou que o diâmetro das mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar foi influenciado pela composição dos substratos, ao testar diferentes matérias-primas e proporções a partir de resíduo da indústria sucroenergética. O autor registrou as maiores médias de diâmetro variando de 8,0 a 9,4 mm, similares às observadas neste trabalho (7,8 a 10,2 mm). As menores médias para diâmetro encontradas por Lima (2016) estiveram em torno de 6,6 mm, observadas nas mudas pré-brotadas da variedade RB867515 cultivadas em areia como substrato.

### **5.1.3. Massa seca da parte aérea (MSPA)**

A MSPA das plantas representa o somatório da matéria seca dos perfilhos, limbo foliar total, bainha, desponte e colmo, de cada parcela. Os resultados de MSPA apresentaram baixo coeficiente de variação (6,96%) e foram determinados pelo efeito combinado dos substratos e das variedades (Tabela 4 e Figura 24).

A variedade RB966928 acumulou mais biomassa (3,62 g) quando cultivada no substrato S3. A maior MSPA da variedade RB867515 (4,33 g) foi observada no cultivo em substrato S1. A variedade RB92579 apresentou altos valores de MSPA, independentemente do substrato (S1 = 4,22 g; S2 = 4,28 g; S3 = 4,28 g).

**Figura 24.** Massa seca da parte aérea (g) de mudas pré-brotadas de variedades de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes tipos de substratos, aos 70 dias após o plantio.



Letra maiúscula compara as variedades no mesmo substrato e letra minúscula compara uma variedade em todos os substratos, pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Morgado et al. (2000) testaram substratos produzidos a partir de resíduos da agroindústria para a produção de MPB e observaram que a composição do substrato refletiu no acúmulo de matéria seca. O maior acúmulo de massa seca observado pelos autores ocorreu quando as mudas foram cultivadas em substrato composto de 70% de bagaço de cana e 30% de torta de filtro. Quando o cultivo ocorreu no substrato preparado a partir de 80% de bagaço de cana e 20% de casca de côco, houve menos acúmulo de biomassa seca.

Avaliando o crescimento, consumo de água e eficiência no uso da água na produção de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar, Ohashi et al. (2016) notaram o efeito dos substratos sobre a matéria seca da parte aérea. Plântulas cultivadas em substrato e comercial e em substrato composto por 20% fuligem + 50% torta de filtro compostada + 30% substrato comercial exibiram maiores valores

de MSPA. Substratos com 10% fuligem + 40% torta de filtro compostada + 50% substrato comercial e com 10% fuligem + 50% torta de filtro compostada + 40% substrato comercial resultaram em mudas com menor biomassa. Ohashi et al. (2016) notaram que os melhores resultados ocorreram nos substratos com menor densidade que, de acordo com os autores, trata-se de atributo físico que influencia a altura das plantas e, conseqüentemente, na massa seca da parte aérea.

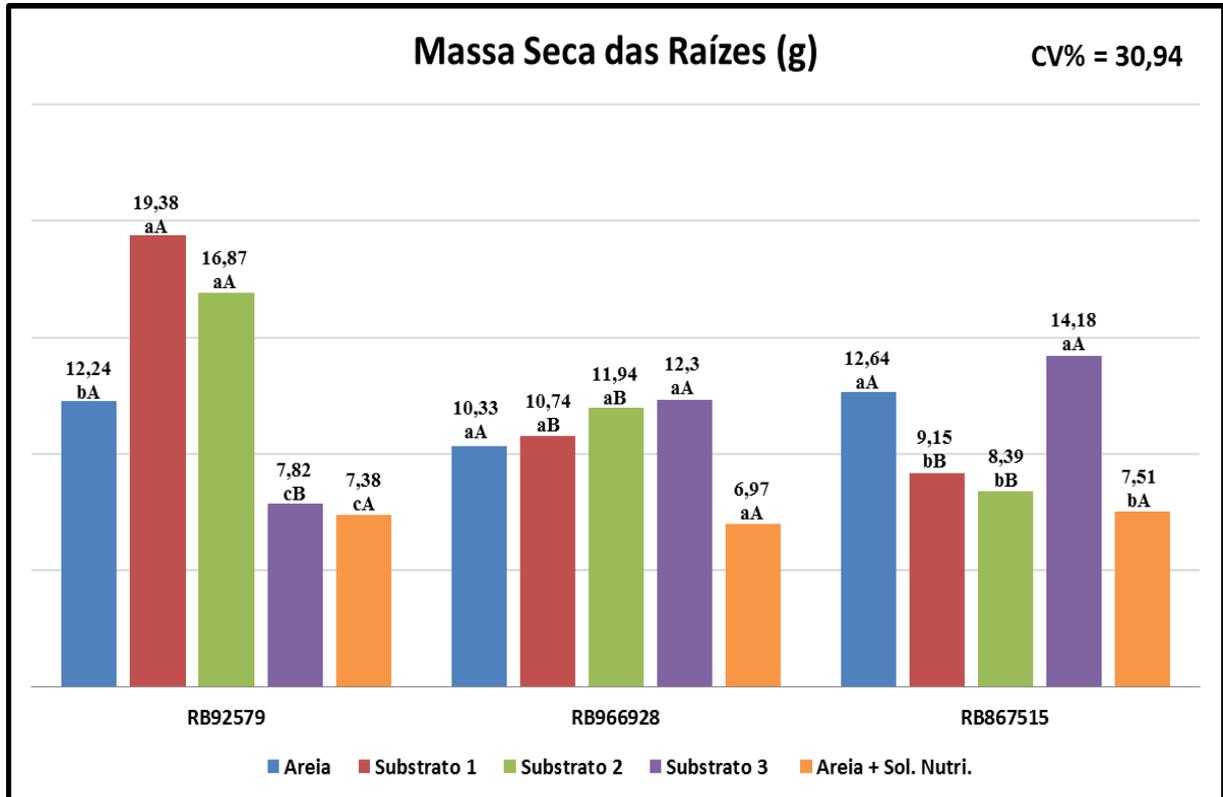
Carneiro (1976) e Gomes e Paiva (2004) afirmaram que o peso da matéria seca da parte aérea é uma boa indicação da capacidade de resistência das mudas às condições adversas, apresentando uma elevada rusticidade e correlacionando diretamente com a sobrevivência e com o desenvolvimento inicial das mudas após o plantio no campo.

#### **5.1.4. Massa seca da raiz (MSR)**

Assim como todos os demais parâmetros biométricos, o acúmulo de massa seca radicular das MPBs ocorreu em função da interação dos fatores variedade e substrato (Tabela 4). Dentre estes parâmetros, a MSR foi o que apresentou maior coeficiente de variação dos resultados (30,94%).

A variedade RB966928 não apresentou resultados de MSR com diferenças significativas provocadas pelo substrato. A variedade RB92579 respondeu com maior MSR quando cultivada nos substratos S1 (19,38 g) S3 (16,87 g). Mudas da variedade RB867515 cultivadas no S3 apresentaram 14,18 g como valor médio MSR, ou seja, abaixo da MSR acumuladas pelas outras variedades (Figura 25).

**Figura 25.** Massa seca das raízes (g) de mudas pré-brotadas de variedades de cana-de-açúcar, cultivadas em diferentes tipos de substratos, aos 70 dias após o plantio.



Letra maiúscula compara as variedades no mesmo substrato e letra minúscula compara uma variedade em todos os substratos, pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Lima (2016) cultivou mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar em substratos de diferentes composições e observou baixos valores de massa seca de raiz naqueles compostos por bagaço e torta de filtro em diferentes concentrações. O autor encontrou importante relação entre a massa seca da raiz com a parte aérea das mudas. Essa interdependência foi possível observar no presente experimento, uma vez que os substratos S1 e S3 resultaram nos melhores resultados na maioria dos parâmetros de parte aérea. O S1 possui pH, CTC e teores de macronutrientes mais elevados, enquanto o S3 é mais limitado quanto aos atributos de fertilidade. Além disso, o S1 e o S3 têm menores densidade e de condutividade elétrica, cujos valores mais elevados do S2 podem ter sido restritivos ao desenvolvimento de biomassa (Tabela 3). A densidade adequada de substratos relatada pela literatura é variável. Fermino (2002) associa a densidade ideal do substrato com a altura do recipiente, recomendando que a densidade permaneça entre 250 kg m<sup>-3</sup> e 400 kg m<sup>-3</sup> para produção de mudas em recipientes de 15 cm de altura. Gonçalves & Poggiani

(1996), citados por Lopes et al. (2008), apontam que os valores ideais para densidade de substratos estão entre  $450 \text{ kg m}^{-3}$  e  $550 \text{ kg m}^{-3}$ , enquanto Abad et al. (1993) consideraram que o substrato ideal deve apresentar densidade inferior a  $450 \text{ kg m}^{-3}$ . Os valores de densidade dos substratos S1, S2 e S3 (Tabela 3) estão dentro da faixa ideal, indicando que o espaço de aeração, de retenção de água e de expansão de raízes pode não ter sido determinante para o acúmulo de MSR.

#### **5.1.5. Índice de Qualidade de Dickson**

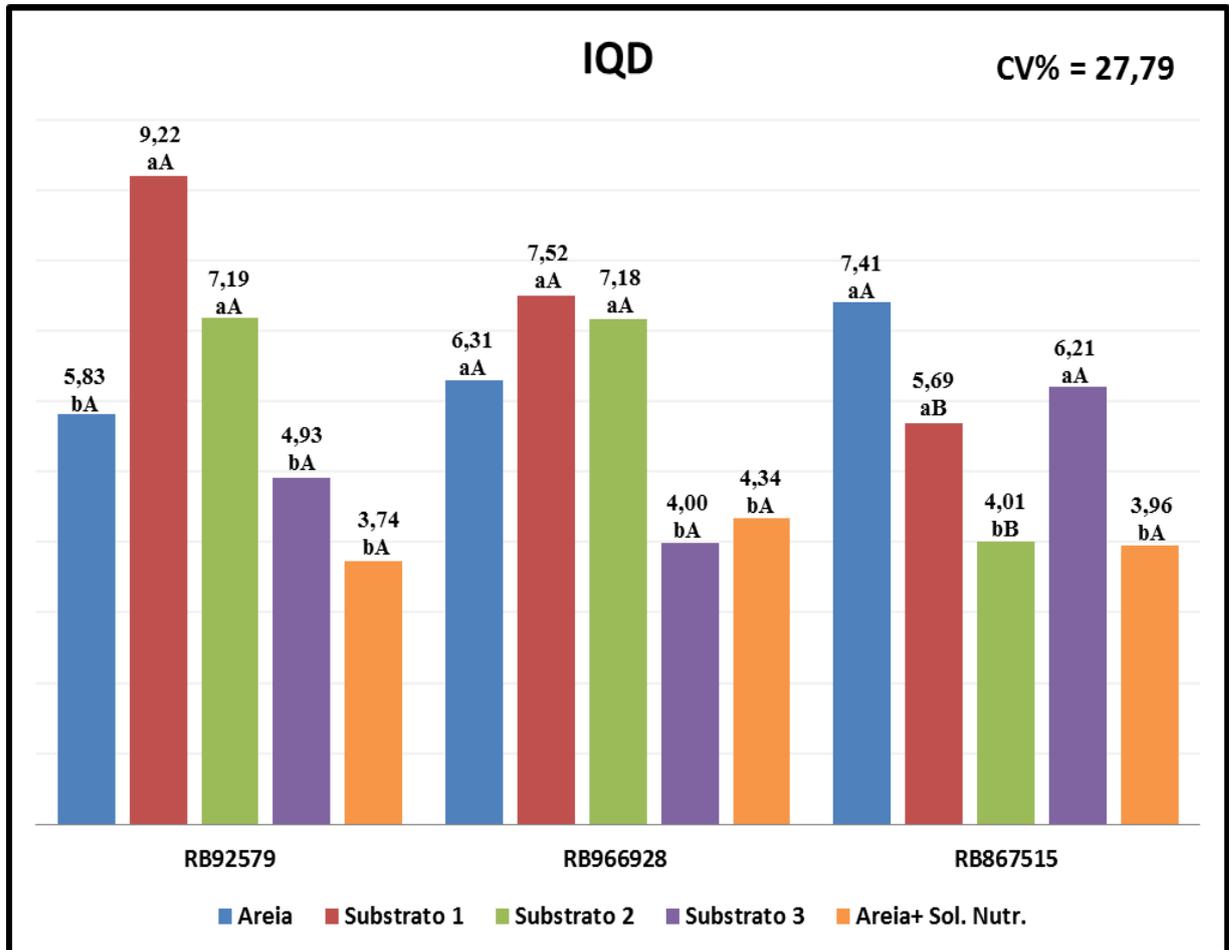
Os parâmetros de seleção para plantio são baseados em critérios que, na maioria das vezes, não atestam a qualidade das mudas. Uma vez que este padrão varia de acordo com o genótipo, tratos culturais e outros manejos empregados no sistema de produção das mudas (GOMES et al., 2002).

Segundo Fonseca (2000) e Eloy et al. (2013), para a seleção de mudas são usados critérios de qualidade baseados em características morfológicas (aspectos fenotípicos) e fisiológicas (aspectos internos da planta). As características morfológicas são as mais utilizadas para determinar a qualidade de mudas, mas não existe um parâmetro ou um indicador estabelecido para a avaliação de MPB.

O Índice de Qualidade de Dickson (IQD) é considerado uma medida promissora para parâmetros morfológicos e, conseqüentemente, um bom indicador de qualidade de mudas, principalmente por considerar em seu cálculo a robustez e o equilíbrio da distribuição da fitomassa (FONSECA et al., 2002; ELOY et al., 2013).

O valor mais elevado de IQD (9,22) foi obtido para mudas da variedade RB92579 cultivadas no S1. Os melhores IQD das variedades RB867515 (7,41) e RB966928 (7,52) também foram obtidos para as mudas cultivadas no S1 (Figura 26). Embora o IQD tenha sido um indicador dependente do efeito simultâneo dos fatores variedade e substrato, o S1 resultou nos maiores IQD para as mudas das três variedades.

**Figura 26.** Índice de Qualidade de Dickson (IQD) de mudas pré-brotadas de variedades de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes tipos de substratos.



Letra maiúscula compara as variedades no mesmo substrato e letra minúscula compara uma variedade em todos os substratos, pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Os resultados mostraram que o IQD foi um parâmetro mais sensível ao tipo de substrato em que as MPBs foram cultivadas, como observado por Vargas & Marques (2017) para mudas de espécies de ecossistemas naturais (angico e canafístula). O substrato é um dos fatores que exercem maior influência no desenvolvimento de mudas em geral, podendo ser passível de manejo devido às diversas opções de materiais utilizados de forma isolada ou combinada. O seu uso inadequado do substrato pode ocasionar irregularidades durante o processo de formação de mudas e os resultados podem ser refletidos em parâmetros morfológicos como MSPA, MSR, altura e diâmetro. Mudas que apresentarem baixos resultados nesses parâmetros terão reflexos negativos no Índice de Qualidade de Dickson (Araujo & Sobrinho, 2011; HOSSEL et al., 2011; LIMA et al., 2017).

É importante que o índice de qualidade da muda tenha relação direta com atributos de fácil aferição, de forma a torná-lo de ampla utilização prática. Por

exemplo, Vargas & Marques (2017) associaram altos índices de IQD de mudas de espécies nativas aos teores de N foliar, indicando que aspectos nutricionais podem ter estreita associação com o padrão de qualidade de mudas.

## 5.2 Avaliações Nutricionais

### 5.2.1. Eficiência de utilização de nitrogênio (EUN)

Os melhores resultados de EUN das mudas das variedades RB92579 e a RB867515 não variaram nos substratos S1, S2 e S3. As mudas da variedade RB966928 foram mais eficientes na utilização de N quando cultivadas no S3. As maiores médias de EUN foram obtidas para plântulas da variedade RB92579 (0,40 kg kg<sup>-1</sup>). O S3 foi o substrato que propiciou a maior EUN (0,43 kg kg<sup>-1</sup>) (Tabela 6).

**Tabela 6.** Eficiência de utilização de nitrogênio (EUN) de mudas pré-brotadas de variedades de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes tipos de substratos.

<b>EUN</b>				
<b>Substratos</b>	<b>RB92579</b>	<b>RB966928</b>	<b>RB867515</b>	<b>Média Substratos</b>
----- kg kg <sup>-1</sup> -----				
Areia	0,31 bA	0,23 cB	0,30 bA	<b>0,28 c</b>
Substrato 1	0,48 aA	0,29 bC	0,42 aB	<b>0,40 b</b>
Substrato 2	0,50 aA	0,31 bC	0,39 aB	<b>0,40 b</b>
Substrato 3	0,47 aA	0,39 aB	0,42 aB	<b>0,43 a</b>
Areia+ Sol. Nutr.	0,23 cA	0,17 dB	0,23 cA	<b>0,21 d</b>
<b>Média Variedades</b>	<b>0,40 a</b>	<b>0,28 c</b>	<b>0,35 b</b>	
<b>CV%</b>				<b>10,45%</b>

Letra maiúscula compara as variedades no mesmo substrato e médias das variedades. Letra minúscula compara uma variedade em todos os substratos e média dos substratos, pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Balemi & Schenk (2009) afirmaram que existem diferenças entre genótipos quanto a eficiência de utilização de nutrientes, de modo que os mais eficientes refletem a capacidade na maior produção de matéria seca da parte aérea. O conceito dos autores se aplica aos resultados das mudas da variedade RB92579, que apresentaram a maior EUN (Tabela 6), em todos os substratos, e os maiores valores MSPA, principalmente quando cultivadas nos substratos comerciais (Tabela 5). As mudas das variedades RB966928, cultivadas no S3, e da RB867515,

cultivadas no S1, também apresentaram altos valores de MSPA, mas foram menos eficientes na utilização de N.

Amaral et al. (2011) questionaram sobre a viabilidade de atrelar ou não a eficiência de utilização de nutrientes com a produção de material vegetal de parte aérea. Favarin et al. (2002) propuseram o uso da área foliar como um parâmetro indicativo de produtividade, pois o processo fotossintético depende da interceptação da energia luminosa e da sua conversão em energia química. Ribeiro (2016) avaliou a alocação de nutrientes em diferentes partes da planta, a eficiência na utilização de nutrientes para a produção de sacarose e outros parâmetros tecnológicos de oito variedades de cana-de-açúcar em função de diferentes lâminas de irrigação. A RB966928 foi a variedade mais eficiente na utilização do N, que neste apresentou a menor EUN (Tabela 6).

### 5.2.2. Eficiência de utilização de fósforo (EUP)

Ao contrário dos demais parâmetros, a EUP não dependeu do efeito complexo da interação entre os fatores variedade e substrato. Porém, os dois fatores isolados foram altamente significativos nos resultados de EUP (Tabela 4). A variedade RB92579 teve a maior EUP (2,48 kg kg<sup>-1</sup>), enquanto os substratos areia e areia + solução nutritiva foram os que proporcionaram maiores EUP pelas variedades (3,02 kg kg<sup>-1</sup> e 2,65 kg kg<sup>-1</sup>) (Tabela 7).

**Tabela 7.** Eficiência de utilização de fósforo (EUP) de mudas pré-brotadas de variedades de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes tipos de substratos.

Substratos	EUP			Média Substratos
	RB92579	RB966928	RB867515	
	----- kg kg <sup>-1</sup> -----			
Areia	3,45	2,07	3,54	<b>3,02 a</b>
Substrato 1	2,62	0,77	1,37	<b>1,58 b</b>
Substrato 2	1,64	0,71	1,24	<b>1,20 b</b>
Substrato 3	1,88	0,99	1,37	<b>1,41 b</b>
Areia+ Sol. Nutr.	2,82	2,08	3,06	<b>2,65 a</b>
<b>Média Variedades</b>	<b>2,48 a</b>	<b>1,32 b</b>	<b>2,12 a</b>	
<b>CV%</b>	<b>40,08%</b>			

Letra maiúscula compara as variedades no mesmo substrato e médias das variedades. Letra minúscula compara uma variedade em todos os substratos e média dos substratos, pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

A maior eficiência na areia e na areia + solução pode ser um mecanismo de adaptação ou de otimização de uso do P perante o estresse nutricional. Segundo Abichequer (1995) e Amaral et al. (2011), a eficiência de utilização de nutrientes é mais evidente quando a planta é cultivada em ambiente com baixa disponibilidade ou déficit nutricional. A expressão desta característica é importante critério na diferenciação de variedades quanto ao seu requerimento e habilidade de uso de nutrientes (FAGERIA et al., 1982; MARTINEZ et al., 1993). Por exemplo, as variedades RB92579 e RB867515 mostraram as maiores eficiências de utilização de P, independentemente do substrato em que foram cultivadas (Tabela 7). Estudos de Mendes (2006) com eficiência nutricional de cultivares de cana-de-açúcar mostraram que as variedades RB867515 e SP80-3280 puderam ser classificadas em um grupo de maior eficiência quanto ao acúmulo de P.

Apesar de não haver informação específica para o P, é muito mencionado pela literatura que essa adaptação pode depender da reserva nutricional dos toletes que, no caso de MPB, tende a ser bastante limitada. Carneiro et al. (1995) mostraram que a quantidade da reserva energética em toletes exerceu maior influência ao longo de 44 dias de crescimento do broto primário (fase de aclimatação II). Os melhores resultados foram observados com toletes com maior reserva localizada no entrenó inferior à gema. Por esta razão, as diversas características morfológicas dos colmos (diâmetro e comprimento dos minirrebolos) e suas gemas são as responsáveis pela ampla variabilidade de comportamento das MPB (XAVIER et al., 2014).

A EUP provavelmente também está relacionada com algum parâmetro biométrico. Analisando a eficiência nutricional do P por genótipos de milho em solução nutritiva, Ciarelli (1989) verificou que a maior taxa de acúmulo se deveu ao crescimento do sistema radicular. Aparentemente, as MPBs com maior biomassa de raízes apresentaram melhor EUP (Figura 4). Segundo Martinez et al. (1993), isso provavelmente ocorre porque as plantas cultivadas em ambientes mais restritivos tendem a reter mais P nas raízes, translocando menos P para a parte aérea. Em virtude da retenção de P nas raízes, o crescimento radicular é mantido em detrimento ao desenvolvimento da parte aérea (MOURA et al., 2001). Trata-se de uma estratégia vegetal de gerenciamento do P, em que a planta estabelece estruturas prioritárias a serem supridas com o P absorvido de forma restritiva, conforme a seguinte ordem (ORLANDO FILHO, 1980): tecidos meristemáticos,

colmos de alongação, folhas jovens, folhas velhas e cana madura. Partindo deste pressuposto, é possível afirmar que MPBs de variedades com maior EUP redirecionam o P para as raízes, investindo no desenvolvimento do sistema radicular. Este aspecto atende um dos principais objetivos do sistema de produção de MPBs, que é produzir mudas com sistema radicular vigoroso para aumentar as expectativas de sobrevivência e adaptação das plântulas no campo.

### 5.3.1. Eficiência de utilização de potássio (EUK)

Da mesma forma que a EUP, a EUK dependeu apenas dos efeitos isolados dos fatores variedade e substrato (Tabela 4). A EUP e a EUK apresentaram tendências muito similares. Os melhores resultados de EUP também foram obtidos para a variedade RB92579 e nos substratos areia e areia+sol. nutr. (Tabela 8).

**Tabela 8.** Eficiência de utilização de potássio (EUK) de mudas pré-brotadas de variedades de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes tipos de substratos.

EUK				
Substratos	RB92579	RB966928	RB867515	Média Substratos
	----- kg kg <sup>-1</sup> -----			
Areia	0,43	0,33	0,30	<b>0,35 a</b>
Substrato 1	0,23	0,04	0,10	<b>0,12 c</b>
Substrato 2	0,17	0,05	0,13	<b>0,12 c</b>
Substrato 3	0,16	0,08	0,11	<b>0,12 c</b>
Areia+ Sol. Nutr.	0,26	0,22	0,32	<b>0,27 b</b>
<b>Média Variedades</b>	<b>0,25 a</b>	<b>0,14 b</b>	<b>0,19 b</b>	
<b>CV%</b>	<b>53,78%</b>			

Letra maiúscula compara as variedades no mesmo substrato e médias das variedades. Letra minúscula compara uma variedade em todos os substratos e média dos substratos, pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

As apreciações feitas para os resultados de EUP são válidas para a EUK no que se refere ao uso da reserva do tolete, uma vez que os melhores resultados de EUK não foram observados com o cultivo nos substratos comerciais. Carneiro et al. (1995) e Civiero et al. (2014) comentaram que, mesmo que o mirrebolo de 4 cm seja muito menor do que os colmos sementes usados no plantio convencional, a reserva pode ser suficiente para o período de produção de MPBs.

Dentre os poucos trabalhos com eficiência de utilização de K por cana-de-açúcar, destaca-se o estudo de Sandoval et al. (2017). Os autores avaliaram a EUK de quatro genótipos de cana-de-açúcar em função de cinco doses de K. A

conclusão foi que a variedade RB92579 foi a mais eficiente no uso de K, mas dependeu dos teores de K no solo.

### 5.3 Análise de correlação de Pearson

Considerando os resultados obtidos para os substratos (Tabela 9), a grande maioria dos coeficientes de correlação de Person com significância estatística foi associada ao substrato 2. A altura das mudas cultivadas no S2 apresentou correlação com todos os demais, exceto com o IQD e com a MSR. A MSPA correlacionou-se com todos os demais parâmetros nos substratos 2 e 3, com exceção da MSR e do IQD. Binotto et al. (2010) afirmaram que o diâmetro e a altura das MPBs são estreitamente correlacionados, mas, de forma geral, a literatura indica que o diâmetro do colmo é o parâmetro que tende a ser mais associado com várias outras medidas biométricas de caráter morfológico (CARNEIRO, 1985; JOHNSON & CLINE, 1991; JOSÉ et al., 2005).

Houve destacada correlação entre o IQD e a MSR das mudas, independentemente dos substratos, indicando que a MSR tem potencial para indicar a qualidade das MPBs. Binotto (2007) concluiu que o IQD de mudas de *Eucalyptus grandis* e de *Pinus elliotti* Binotto (2007) possui correlação altamente positiva com a MSR.

**Tabela 9.** Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis Índice de Qualidade de Dickson (IQD), altura, diâmetro de colmo, massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), eficiência de utilização de nitrogênio (EUN), de fósforo (EUP) e de potássio (EUK), em mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes substratos.

		Substratos		
		S1	S2	S3
IQD x	Altura	0,262	0,197	0,499**
	Diâmetro	-0,271	0,262	-0,027
	MSPA	-0,015	0,021	0,482**
	MSR	0,925*	0,993*	0,927*
	EUN	0,197	0,120	0,358
	EUP	-0,006	-0,052	0,399
	EUK	0,029	-0,084	0,122
Altura x	Diâmetro	-0,473**	0,694*	0,267
	MSPA	-0,342	0,833*	0,717*
	MSR	0,417	0,212	0,426
	EUN	-0,321	0,842*	0,295
	EUP	-0,424	0,732*	0,564*
	EUK	-0,414	0,653*	0,408
Diâmetro	MSPA	0,849*	0,786*	0,729*
	MSR	-0,586*	0,190	-0,381
	EUN	0,617*	0,665*	0,720*
	EUP	0,107	0,559*	0,825*
	EUK	0,107	0,527*	0,740*
MSPA	MSR	-0,360	-0,008	0,199
	EUN	0,882*	0,929*	0,772*
	EUP	0,380	0,920*	0,932*
	EUK	0,410	0,886*	0,767*
MSR	EUN	-0,130	0,108	0,075
	EUP	-0,124	-0,064	0,096
	EUK	-0,096	-0,101	-0,114
EUN	EUP	0,497**	0,944*	0,872
	EUK	0,533*	0,904*	0,645
EUP	EUK	0,996*	0,964*	0,819*

\* coeficiente de correlação significativo em 5% de probabilidade de erro, pelo teste t.

\*\* coeficiente de correlação significativo em 10% de probabilidade de erro, pelo teste t.

Quando as análises de correlação foram feitas tendo as variedades de cana-de-açúcar como referência, a alta correlação entre o IQD e a MSR foi mantida (Tabela 10).

**Tabela 10.** Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis índice de qualidade de Dickson (IQD), altura, diâmetro de colo, massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), eficiência de utilização de nitrogênio (EUN), de fósforo (EUP) e de potássio (EUK), em mudas pré-brotadas de diferentes variedades de cana-de-açúcar.

		Variedades		
		RB92579	RB966928	RB867515
IQD x	Altura	-0,069	-0,019	0,274
	Diâmetro	-0,369	-0,513**	0,285
	MSPA	0,201	-0,460**	0,469**
	MSR	0,963*	0,985*	0,874*
	EUN	0,219	-0,493**	0,438
	EUP	-0,040	-0,689*	0,687*
	EUK	-0,065	-0,698*	-0,086
Altura x	Diâmetro	0,05	0,200	-0,559*
	MSPA	0,588*	0,402	-0,098
	MSR	0,043	0,015	0,602*
	EUN	0,184	-0,028	0,183
	EUP	-0,462**	0,240	0,265
	EUK	-0,393	-0,056	0,101
Diâmetro	MSPA	0,309	0,929*	0,767*
	MSR	-0,572*	-0,623*	-0,200
	EUN	-0,073	0,914*	0,392
	EUP	-0,033	0,740*	0,314
	EUK	-0,140	0,884*	-0,451**
MSPA	MSR	0,147	-0,546*	0,100
	EUN	0,393	0,864*	0,711*
	EUP	0,139	0,643*	0,695*
	EUK	0,132	0,767*	-0,092
MSR	EUN	0,195	-0,601*	0,290
	EUP	-0,094	-0,732	0,539*
	EUK	-0,079	-0,777*	0,093
EUN	EUP	0,181	0,686*	0,717*
	EUK	0,177	0,902*	0,081
EUP	EUK	0,978*	0,832*	0,150

\* coeficiente de correlação significativo em 5% de probabilidade de erro, pelo teste t.

\*\* coeficiente de correlação significativo em 10% de probabilidade de erro, pelo teste t.

Hermann (1964) admitiu que o peso da matéria seca das raízes é um dos melhores e mais importantes parâmetros para a sobrevivência e estabelecimento de mudas em campo, afirmando ainda que, independentemente da altura, a MSR é responsável direta por garantir a resistência das plântulas aos estresses provocado pelo transplântio. Trata-se do reflexo da associação íntima do sistema radicular com a natureza fisiológica das mudas, aumentando a área de captação de água e de

nutrientes e melhorando a complexa interação ambiente-solo-água-planta (CARNEIRO, 1985; BINOTO, 2007).

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As informações contidas neste trabalho poderão contribuir para o aprimoramento da nova e inovadora tecnologia de produção de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar. O trabalho também apontou que a área ainda carece de muitas informações de carácter técnico e científico e de muitas respostas a importantes questões. Qual o recipiente (forma, tamanho, composição, etc.) mais apropriado para o desenvolvimento de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar? Seria conveniente aumentar o tamanho do recipiente e investir em substâncias estimuladoras de crescimento radicular? Até que ponto o minirrebolo atua como estrutura de reserva das MPBs? O que representa a reserva dos minirrebolos (água, nutrientes, substâncias reguladoras da fisiologia das plantas)? Qual é o requerimento nutricional das MPBs? O sistema de produção de MPBs funciona para qualquer variedade de cana-de-açúcar? Afinal, quais as características ideais dos substratos usados no processo de produção de MPBs e como aferir a qualidade das mudas? Qual é o padrão de comportamento das mudas em condições de campo que pode auxiliar na busca dos padrões morfológicos mais adequados na fase de viveiro?

## 7. CONCLUSÕES

- A maioria da variação dos parâmetros estudados foi atribuída à complexa interação entre a variedade e o meio de cultivo, de modo que não foi possível apontar qual foi o melhor substrato para a produção de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar;
- A variedade RB92579 de cana-de-açúcar apresentou as melhores eficiências de utilização de N, P e K;
- As melhores eficiências de utilização de P e de K foram obtidas em substratos com maior restrição de fornecimento de nutrientes, indicando que o minirrebolo é importante estrutura de reserva na fase de produção de mudas;

- A massa seca de raiz (MSR) foi o parâmetro mais indicado para indicar a qualidade de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAD, M.; MARTINEZ, P. F.; MARTINEZ, J. **Evaluación agrónomica de los substratos decultivo**. Actas de Horticultura, Villaviciosa, Espanha, v. 11, p. 141-154, 1993.
- ABICHEQUER, A.D. **Eficiência de absorção e utilização de fósforo por variedades de trigo**. 1995.80 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.
- AFONSO, P. F. N. **Avaliação econômica de sistemas de plantio de cana-de-açúcar na região de Jaú-SP**. 2017. 75 p. Tese (Doutorado em Agronomia: Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP Campus de Botucatu, Botucatu, 2017.
- ALFONSI, R.R.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; BRUNINI, O.; BARBIERI, V. Condições climáticas para a cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas, 42-55p. 1987.
- ALVAREZ, R. WUTKE, A. C. P.; ARRUDA, H. V.; RAIJ, B. V.; GOMES, A. C.; ZINK, F. **Adubação da cana-de-açúcar: XIV. Adubação NPK em Latossolo Roxo**. Bragantia, Campinas, v.50, n.2, p.359-374, 1991.
- AMARAL, J. F. T.; MARTINEZ, H. E. P.; LAVIOLA, B. G.; FERNANDES FILHO, E. I., CRUZ, C. D. **Eficiência de utilização de nutrientes por cultivares de cafeeiro**. Ciência Rural, Santa Maria, 2011.
- ANJOS, I. A.; FIGUEIREDO, P. A. M. Aspectos fitotécnicos do plantio. In: DINARDO-MIRANDA, L. L., VASCONCELLOS, A. C. M. D. E LANDELL, M. G. D. A. **Cana-de-açúcar**. 1ª edição - 1ª reimpressão. Campinas: Instituto Agrônômico, 2010.
- ARAUJO, S. H. C. **Mini-toletes de cana-de-açúcar: gemas, biorreguladores, adubação nitrogenada e déficit hídrico**. 2016. 84 p. Tese (Doutorado em Ciências: Áreas de concentração: Fisiologia e Bioquímica de Plantas. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

- ARAÚJO, A.P. DE; SOBRINHO, S. DE P. **Germinação e produção de mudas de tamboril *Enterolobium contortisiliquum* (vell.) morong) em diferentes substratos.** Revista *Árvore*, v.35, p.581-588, 2011.
- AUDE, M.I.S. **Estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar e suas relações com a produtividade.** *Ciência Rural*, Santa Maria, v.23, n.22, p. 241-248, 1993.
- BACCHI, O. O. S. **Botânica da cana-de-açúcar.** In: ORLANDO Fo., J. *Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil.* Piracicaba, IAA Planalsucar, p.25-37, 1983.
- BALEMI, T.; SCHENK, M. K. **Genotypic variation of potato for phosphorus efficiency and quantification of phosphorus uptake with respect to root characteristics.** *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, Weinheim, v. 172, n.5, p. 669-677, 2009.
- BATAGLIA, O. C.; FURLANI, P. R.; FERRAREZI, R. S.; MEDINA, C. L. **Padrão Nutricional de Mudanças de Citros.** Boletim Técnico Vivecitrus/Conplant, Araraquara, 2008.
- BENICASA, M.M.P. **Análise de crescimento das plantas – noções básicas.** 2 ed. Jaboticabal: FUNEP. 2003. 41p.
- BINOTTO, A. F. **Relação entre variáveis de crescimento e o Índice de qualidade de Dickson em mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maid e *Pinus elliotti* var. *elliotti* – Engelm.** 2007. 56 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2007.
- BINOTTO, A. F.; DAL' COL LÚCIO, A.; LOPES, S. J. **Correlations between growth variables and the Dickson quality index in forest seedlings.** *Cerne*, Lavras, MG, v. 16, n. 4, p. 457-464. 2010.
- CÂMARA, G. M. S. **Ecofisiologia da cultura da cana-de-açúcar.** In: CÂMARA, G. M. S.; OLIVEIRA, E. A. M. (Ed). **Produção de cana-de-açúcar.** Piracicaba; FEALQ, p.31-64, 1993
- CAMPANA, M. P.; XAVIER, M. A.; AFERRI, G.; PERECIN, D.; MIGUEL, P. E.; CARREGARI, H. R.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar para a produção de**

- material de propagação nos sistemas de Mudas Pré-Brotadas (MPB) e tradicional.** Anais 10º Congresso STAB, Ribeirão Preto, 2016.
- CARLIN, S. D.; SILVA, M. A.; PERECIN, D. **Fatores que afetam a brotação inicial da cana-de-açúcar.** Revista Ceres, Viçosa, v.51, n.296, p. 457-466, 2004.
- CARMELO, Q. A. C.; FURLANI, P. R. **Hidroponia: cultivo de plantas sem solo.** Piracicaba, SP. Gráfica Universitária de Piracicaba, 1994.
- CARNEIRO, J. G. A. **Determinação do Padrão de Qualidade de mudas de Pinus taeda para plantio definitivo.** 1976. 84p. Dissertação (Mestrado em Ciências), Universidade Federal do Paraná, 1976.
- CARNEIRO, J. G. A. **Efeito da densidade sobre o desenvolvimento de alguns parâmetros morfofisiológicos de mudas de Pinus taeda L. em viveiro após o plantio.** Curitiba: Setor de Ciências Agrárias/Universidade Federal do Paraná, 106f, 1985.
- CARNEIRO, A. E. V.; TRIVELIN, P. C. O.; VICTORIA, R. L. **Utilização da reserva orgânica e de nitrogênio do tolete de plantio (colmo-semente) no desenvolvimento da cana-planta.** Scientia Agricola, v.52, p. 199-209,1995.
- CARVALHO, Simone Pereira; CARRIJO, Ed Licys de Oliveira. **A produção de álcool: do PROÁLCOOL ao contexto atual.** In: XLV CONGRESSO DA SOBER, 2007, Londrina – PR.
- CASAGRANDE, A. A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar.** Jaboticabal: Funep, p. 157, 1991.
- CASAGRANDE & VASCONCELOS. Fisiologia da parte aérea. In: DINARDO-MIRANDA, L. L., VASCONCELLOS, A. C. M. D. E LANDELL, M. G. D. A. **Cana-de-açúcar.** 1ª edição - 1ª reimpressão. Campinas: Instituto Agrônômico, 2010.
- CAVALCANTE, E. P.; PRADO, H. **Ambientes de produção de cana-de-açúcar de latossolos da região de Araxá-MG.** Nucleus, v. 7, n. 2, 2010.
- CAVINS, T. J.; GIBSON, J. L.; WHIPKER, B. E.; FONTENO, W. C. **pH and ec meters – tool for substrate analysis.** North Carolina State University, 2000.

- CEOTTO, E. & CASTELLI, F. **Radiation-use efficiency in fluecured tobacco (*Nicotiana tabacum L.*):** Response to nitrogen supply, climatic variability and sink limitation. *Field Crops Res.*, v.74, p.117-130, 2002.
- CHAPOLA, R. G.; HOFFMANN, H. P.; BASSINELLO, A. I.; FERNANDES Jr, A. R.; VIEIRA, M. A. S. **Censo Varietal 2010 de Cana-de-açúcar nos Estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul.** STAB, v.29, n.3, p.42-45, 2011.
- CHAPOLA, R. G.; HOFFMANN, H. P. **Variedades RB, Participação, Uso e Manejo.** In: III Encontro de Usuários de Variedades de Cana-de-Açúcar “Raphael Alvarez”. Piracicaba, SP, 2015.
- CIARELLI, D. M. **Eficiência na absorção e utilização do fósforo por genótipos de milho (*Zea mays L.*) em solução nutritiva.** 1989. 110p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1989.
- CIVIEIRO, J. C.; DAROS, E.; MELO, L. J. O. T.; WEBER, H.; MOGOR, A. F.; FIGUEIREDO, G. G. O. **Aplicação de substâncias húmica e do aminoácido L-glutâmico em diferentes comprimentos da reserva nutricional de tolete de uma gema de cana-de-açúcar.** *Revista de Ciências Agrárias*, v. 37, n.3, p.340-347, 2014.
- COLETI, J. T. Técnica cultural de plantio. In: PARANHOS, S. B. **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização.** Campinas: Fundação Cargill, cap.3, p.284-328, 1987.
- COLETI, J.T.; CASAGRANDE, J.C.; STUPIELLO, J.J.; RIBEIRO, L.D. & OLIVEIRA, G.R. **Remoção de macronutrientes pela cana-planta e cana-soca, em Argissolos, variedades RB83486 e SP81-3250.** STAB, v.24, p.32-36, 2006.
- COMETTI, N. N.; FURLANI, P. R.; RUIZ, H. R.; FERNANDES FILHO, E. I. Soluções nutritivas: formulações e aplicações. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). *Nutrição Mineral de Plantas.* Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.89-114. 2006.
- CONAB. **Cana-de-Açúcar.** In: Acompanhamento da safra brasileira. v. 4 - Safra 2017/18, n. 1 - Primeiro levantamento, Brasília, p. 1-57, 2017.

- DAROS, Edelclaiton; OLIVEIRA, Ricardo Augusto de; BARBOSA, Geraldo Veríssimo de Souza. **45 anos de variedades RB de cana-de-açúcar**. 1ª edição. Graciosa. Curitiba, 2015.
- DE MARCO, E.; MATOSO, E. S.; TATTO, F. R.; BOELTER, J. H.; SILVA, S. D. A. **Utilização de resíduos agroenergético em substratos para a produção de mudas de cana-de-açúcar**. X ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATO PARA PLANTAS, Campinas, 2016.
- DIAS, F. L. F. **Relação entre a produtividade, clima, solos e variedades de cana-de-açúcar, na Região Noroeste do Estado de São Paulo**. 1997. 64 p. Tese de Mestrado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.
- DICKSON, A.; LEAF, A.L.; HOSNER, J.F. **Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries**. Forestry Chronicle, v.36, p. 10-13, 1960.
- DILLEWIJN, C. N. **Botany of sugarcane**. Waltham: Chronica Botanica, p. 371p, 1952.
- DINARDO-MIRANDA, L. L., VASCONCELLOS, A. C. M. D. E LANDELL, M. G. D. A. **Cana-de-açúcar**. 1ª edição - 1ª reimpressão. Campinas: Instituto Agrônômico, 2010.
- EBERHARDT, D. S., SILVA, P. R. F., RIEFFEL NETO, S. R. **Eficiência de absorção e utilização de nitrogênio por plantas de arroz e de dois ecótipos de arroz vermelho**. Revista Daninha, v. 17, p. 309-323, 1999
- ELIA, P. **Estabelecimento e desenvolvimento de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar sob diferentes lâminas de irrigação**. 2016. 88 p. Dissertação (Mestre em Ciências. Áreas de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.
- ELOY, E.; CARON, B. O.; SCHMIDT, D.; BEHLING, A.; SCHWERS, L.; ELLI, E. F. **Avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* utilizando parâmetros morfológicos**. Floresta, v.43, n.3, p.373-384, 2013

- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS,1997.212p.
- EMBRAPA. **Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar**. 2016. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1042764/1/Doc200.pdf>>. Acesso em: 26 set. 2017.
- FAGERIA, N. K., BARBOSA FILHO, M. P. **Avaliação preliminar de cultivares de arroz irrigado para maior eficiência de utilização de nitrogênio**. Pesq. Agropec. Bras., Brasília, v.17, n.12, p.1709-1712,1982.
- FAVARIN, J. L. et al. **Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.37, n.6, p.769-773, 2002.
- FERMINO, M. H. **O uso da análise física na avaliação da qualidade de componentes e substratos**. In: FURLANI, A. M. C; BATAGLIA, O. C.; ABREU, M. F.; ABREU, C. A.; FURLANI, P. R.; QUAGGIO, J. A. MINAMI, K. Caracterização, manejo e qualidade de substratos para a produção de plantas. Campinas: Instituto Agrônômico, p.29-37, 2002.
- FONSECA, E. P. **Padrão de qualidade de mudas de Trema micrantha (L.) Blume, Cedrela fissilis Vell. e Aspidosperma polyneuron Müll. Arg. produzidas sob diferentes períodos de sombreamento**. 2000. 113p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal, SP, 2000.
- FONSECA, E. P.; VALERI, S. V.; MIGLIORANZA, E.; FONSECA, N. A. N.; COUTO, L. **Padrão de Qualidade de mudas de Trema micrantha (L.) Blume., produzidas sob diferentes períodos de sombreamento**. Revista Árvore, v. 26, n. 4, p. 515 - 523, 2002.
- FRAGA JÚNIOR, E. F. **Considerações sobre o manejo de irrigação na produtividade e qualidade de gemas de cana-de-açúcar para viveiros de mudas-pré-brotadas (MPB)**. 2015. 110 p. Tese (Doutorado em Ciências: Áreas de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.
- FURLANI, C. E. A.; VOLTARELLI, M. A. **PLANTIO MECANIZADO DE CANA-DE-AÇÚCAR: Aspectos Sobre o Plantio Mecanizado e Resultados no campo**. In:

- BELARDO, Guilherme de Castro; CASSIA, Marcelo Tufaile; SILVA, Rouverson Pereira da. **Processos Agrícolas e Mecanização da Cana-de-açúcar**. Jaboticabal-SP: SBEA, 2015. p.31-34.
- GARCIA, F. A. **Efeito de estimulantes radiculares no desenvolvimento de mudas pré-brotadas (MPB) de cana-de-açúcar**. 2016. 37p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Agrônômica) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2016.
- GARCIA, JR. R.; LUNAS, D. A. L. L.; PINTO VIEIRA, A. C. P. **A nova configuração da estrutura produtiva do setor sucroenergético brasileiro**. Ver. Econ. Contemp., Rio de Janeiro, v. 19, n. 1, p. 162-184, jan-abr/2015.
- GASCHO, G. J.; SHIN, S. F. Sugar cane. In: Teare I.D. and Peet M. M (Eds). **Crop-water relations**. 1. Ed. New York: Wiley-Interscience, p.445-479, 1983.
- GAVA, G. J. C. **O estado da arte e novas tecnologias na produção sustentável de mudas pré-brotadas (MPB) em cana-de-açúcar**. Simpósio Tecnológico de Adubação e Manejo da Cana-de-Açúcar. Dracena, SP. 2016 Disponível em:< <http://www.dracena.unesp.br/Home/Eventos/teccana/curso-1-dracena.pdf> >  
Acesso em: 17 out. 17.
- GAZOLA, T.; CIPOLA FILHO, M. L.; FRANCO JÚNIOR, N. C. **Avaliação de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar provenientes de substratos submetidos a adubação química e orgânica**. Científica, Jaboticabal, v.45, n.3, p.300-306, 2017.
- GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais – propagação sexuada**. 3. ed. Viçosa. Universidade Federal de Viçosa, p. 116, 2004.
- GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. **Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis***. Revista Árvore, v.26, n.6, p.655-664, 2002.
- GONÇALVES, L. M.; POGGIANI, F. **Substratos para produção de mudas florestais**. In: Congresso Latino Americano de Ciência do Solo, 13., 1996, Águas de Lindóia. Resumos... Piracicaba: Sociedade Latino Americana de Ciência do Solo, 1996.

- KAMPF, A. N. **Produção comercial de plantas ornamentais.** Guaíba: Agropecuária, 254p, 2000.
- HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. **The water culture method for growing plants without soils.** Berkeley: California Agricultural Experimental Station, 347p.,1950.
- JAIN, R. et al. **Sugarcane bud chips: a promising seed material.** Sugar Tech, v.12, n.1, p.67-69, 2010.
- HERMANN, R. K. **importance of top-root ratios for survival of Douglas-fir seedling.** Tree Planters' Notes, v. 64, p. 07-11, 1964.
- HOSSEL, C.; BRUN, E. J.; BRUN, F. G. K.; NIERI, E. M.; PASTORIO, A. P.; JUNG, P. H., SILVEIRA, A. C. da. **Uso de parâmetros de qualidade na avaliação de mudas de pata-de-vaca (*Bauhinia forficata Link.*) em diferentes substratos.** I Congresso de Ciência e Tecnologia da UTFPR, 2011.
- JANINI, D. A. **Análise operacional e econômica do sistema de plantio mecanizado de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*).** 2007. 148 p. Tese (Mestrado em Agronomia: Áreas de concentração: Máquinas Agrícolas). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- JOHNSON, J. D.; CLINE, M.L. **Seedling quality os southern pines.** In: DURYEY, M.L.; DOUGHERTY, P. M. **Forest regenerations manual.** Netherlands, Klumer Academic, p.143-162, 1991.
- JOHNSON, H.; HOCHMUTH, G. J.; MAYNARD, D. N. **Soiless Culture of Greenhouse Vegetables.** Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida, n.218, p.19-22, 2010.
- JORDÃO, C.O. MORETTO, E.M. **A vulnerabilidade ambiental e o planejamento territorial do cultivo de cana-de-açúcar.** *São Carlos*, vol.18, n.1, p.75-92, 2015.
- JOSÉ, A. C.; DAVIDE, A. C.; OLIVEIRA, S. L. **Produção de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius Raddi*) para recuperação de áreas degradadas pela mineração de bauxita.** *Cerne*, Lavras, MG, v. 16, n. 2, p. 187-196. 2005.
- LANDELL, M.G. de A. ProCana: O Programa Cana-de-açúcar do Instituto Agrônomo. In: DECHEN, S. C. F., TEIXEIRA, J. P. F. **O AGRONÔMICO.** Campinas, vol.55, n.1, p.05-08, 2003.

- LANDELL, M.G. de A.; BERRO, C.D.; SILVA, D.N.; XAVIER, M.A. MANEJO VARIETAL EM CANA-DE-AÇÚCAR: Aspectos Teóricos e Aplicação de Conceitos. In: BELARDO, Guilherme de Castro; CASSIA, Marcelo Tufaile; SILVA, Rouverson Pereira da. **Processos Agrícolas e Mecanização da Cana-de-açúcar**. Jaboticabal-SP: SBEA, 2015. p.31-34
- LANDELL, M.G. de A.; CAMPANA, M.P.; FIGUEIREDO, P.; XAVIER, M.A.; ANJOS, I.A. dos; DINARDO-MIRANDA, L.L.; SCARPARI, M.S.; GARCIA, J.C.; BIDÓIA, M.A.P.; SILVA, D.N. da; MENDONÇA, J.R. de; KANTHACK, R.A.D.; CAMPOS, M.F. de; BRANCALIÃO, S.R.; PETRI, R.H.; MIGUEL P.E.M. **Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas**. Ribeirão Preto: Instituto Agrônomo de Campinas, 2013. 17p. (IAC. Documentos, 109).
- LEE, T. S. G.; MARTINS, S.; MATSUOKA, S. **Plantio de cana inteira-viabilidade e recomendações**. *Saccharum*, São Paulo, v. 9, n. 43, p. 20-23, 1986.
- LEE, T. S. G.; SILVA, M. R. da. **Pré-tratamento de mudas para o plantio da cana inteira**. *Brasil Açucareiro*, Rio de Janeiro, v.105, n.5/6, p. 36-40, 1987.
- LIMA, F. B. F. **Resíduos da indústria sucroenergética como componentes de substratos para produção de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar**. 2016. 58p. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Área de concentração: Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal, SP, 2016.
- LIMA, L. K. S.; MOURA, M. da C. F.; SANTOS, C. C.; NASCIMENTO, K. P. de C.; DUTRA, A. S. **Produção de mudas de aroeira-do-sertão (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) em resíduos orgânicos**. *Revista Ceres*, v. 64, n.1, p. 001-011, 2017.
- LOGANANDHAN, N. et al. **Sustainable sugarcane initiative (SSI): a methodology of “more with less”**. *Sugar Tech*, v.15, p.98-102, 2013.
- LOPES, J. L. W.; GUERRINI, I. A.; SAAAD, J. C. C. & SILVA, M. R. **Atributos químicos e físicos de dois substratos para a produção de mudas de eucalipto**. *Cerne*, v.14, p. 358-367, 2008

- MAGALHÃES, A.C.N. Ecofisiologia da cana-de-açúcar: aspectos do metabolismo do carbono na planta. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. **Ecofisiologia da produção**. Piracicaba: Associação brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato (POTAFOS), 113-118p., 1987.
- MAGRO, F. J.; TAKAO, G.; CAMARGO, P. E.; TAKAMATSU, S. Y. **Biometria em cana-de-açúcar**. 2011. Trabalho de LPV0684: Produção de Cana-de-açúcar, USP, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP, 2011.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 251p, 1980.
- MARCO, E. de. **Uso de substratos alternativos na produção de morangos e mudas de cana-de-açúcar**. 2017. 84p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.
- MARTINEZ, H. E. P., NOVAIS, R. F., SACRAMENTO, L. V. S., RODRIGUES, L. A. **Comportamento de variedades de soja cultivadas sob diferentes níveis de fósforo: II. Translocação do fósforo absorvido e eficiência nutricional**. R. Bras. Ci. Solo, Campinas, v.17, p.239-244, 1993
- MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. R.; RODRIGUES, L. A.; SACRAMENTO, L. V. S. **Comportamento de variedade de soja cultivadas em diferentes doses de fósforo: I. Cinética de absorção de fósforo e ajustes morfológicos da planta**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 17, n.2, p. 231-238, 1993.
- MENDES, L. C. **Eficiência nutricional de cultivares de cana-de-açúcar**. 2006. 62 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.
- MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas para o plantio**. Campinas: Millenium, p. 623, 2012.
- MILNER, L. **Water and fertilizers management in substrates**. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF CITRUS NURSERYMEN, 6., 2001, Ribeirão Preto, Proceeding... Ribeirão Preto: ISCN, p. 108-111, 2001.

- MOHANTY, M.; DAS, P. P.; NANDA, S. S. **Introducing SSI (Sustainable Sugarcane Initiative) technology for enhanced cane production and economic returns in real farming situations under east coast climatic conditions of India.** Sugar Tcha, v.15, p.98-102, 2015.
- MORGADO, I. F.; CARNEIRO, J. G. A.; LELES, P. S. S.; BARROSO, D. G. **Resíduos agroindustriais prensados como substrato para a produção de mudas de cana-de-açúcar.** Scientia Agricola, v.57, n.4, p. 709-712, 2000.
- MOURA, W.M.; LIMA, P.C.; CASALI, V.W.D.; PEREIRA, P.R.G.; CRUZ, C.D. **Eficiência nutricional para fósforo em linhagens de pimentão.** Horticultura Brasileira, Brasília, v. 19, n. 3, p.174 –180, novembro 2001.
- MOURA FILHO, G. **Crescimento e absorção de nutrientes em quatro variedades de cana-de-açúcar.** In: Seminário Alagoano sobre Variedades de Cana-de-açúcar. 16., 2006. Maceió, Anais... Maceió: STAB. 1 CD-ROM.
- NASTARI, Plínio M. **PERSPECTIVAS PARA O SETOR CANAVIEIRO: Análise e Perspectivas do Setor para o Brasil.** In: BELARDO, Guilherme de Castro; CASSIA, Marcelo Tufaille; SILVA, Rouverson Pereira da. **Processos Agrícolas e Mecanização da Cana-de-açúcar.** Jaboticabal-SP: SBEA, 2015. p.31-34.
- NORONHA, R. H. F. **Qualidade da operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar em sistema meiosi.** 2012. 39 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária - UNESP, campus Jaboticabal, Jaboticabal, 2012.
- OHASHI, A. Y. P.; XAVIER, M. A.; GARCIA, J. C.; PETRI, R. H.; SILVA, L. P. M.; PIRES, R. C. M. **Crescimento e eficiência no uso da água de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar em diferentes substratos.** 10º Congresso STAB, Ribeirão Preto, 2016.
- OLIVEIRA, E. C. A., FREIRE, F. J., OLIVEIRA, R. I. FREIRE, M. B. G. S., NETO, D. E. S., SILVA, S. A. M. **Extração e exportação de nutrientes por variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena.** R. Bras. Ci. Solo, v.34, p. 1343-1352, 2010.

- OLIVEIRA, K. F.; SOUZA, A. M.; SOUZA, G. T. O.; COSTA, A. L. M.; FREITAS, M. L. M. **Estabelecimento de Mudas de *Eucalyptus spp.* e *Corymbia citriodora* em Diferentes Substratos.** Floresta e Ambiente, v.21, n.1, p. 30-36, 2014.
- ORLANDO FILHO, J. **Calagem e adubação da cana-de-açúcar.** In CAMARA, G. M. S.; OLIVEIRA, E.A.M. (Ed). Produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: FEALQ/USP, p.133-146, 1993.
- ORLANDO FILHO. J.; HAAG, H. P.; ZAMBELLO JUNIOR, E. **Crescimento e absorção de macronutrientes pela cana-de-açúcar, variedade CB41-76, em função da idade, em solos do estado de São Paulo.** PLANAULSUCAR, Piracicaba: fev. 1980. p. 1-128. 1980 (Boletim Técnico, n.2)
- PRADO, H, et al. **Solos e ambientes de produção: cana-de-açúcar.** Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. p.179-204.
- PRADO, R. de M.; FERNANDES, F. M.; NATALE, W. **Calcário e Escória siderúrgica, avaliados por análise foliar, acúmulo e exportação de macronutrientes em cana-de-açúcar.** Scientia Agrícola, v.59, n.01, p.129-135, 2002.
- PURSEGLOVE, J.W. **Tropical crops: monocotyledons.** London: Longman, 607p, 1979.
- RAIJ, B.van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendação de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo.** Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 285p, 1996. (Boletim 100)
- RAIJ, B. VAN.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.
- RIBEIRO, Nathália Lopes. **Eficiência nutricional e densidade radicular de oito variedades de cana-de-açúcar submetidas à irrigação por gotejamento.** 2016. 88p. Dissertação (Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.
- RIDESA – **Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro.** Catálogo Nacional de Variedades “RB” de cana-de-açúcar. RIDESA, 136p., Curitiba, 2010.

- RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C.; CASAGRANDE, D.V.; IDE, B.Y. **Plantio de cana-de-açúcar: estado da arte**. 2. Ed. Piracicaba: FEALQ, 2007.
- RODRIGUES, Antonio de Pádua. Reaprendendo a produzir cana-de-açúcar. In: BELARDO, Guilherme de Castro; CASSIA, Marcelo Tufaile; SILVA, Rouverson Pereira da. **Processos Agrícolas e Mecanização da Cana-de-açúcar**. Jaboticabal-SP: SBEA, 2015. p.10-11.
- RODRIGUES, D. J. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu, SP, 1995.
- RODRIGUES, Luciana Deotti. **A cana-de-açúcar como matéria-prima para a produção de biocombustíveis: impactos ambientais e o zoneamento agroecológico como ferramenta para mitigação**. 2010. 59 p. Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização em Análise Ambiental – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2010.
- SANDOVAL, J. C. R.; PIMENTAL, L. D.; BIESDORF, E. M.; CAETANO, L.; DIETRICH, O. H. S. **Eficiência de uso de potássio em cana-de-açúcar**. Anais: XI WORKSHOP AGROENERGIA. Ribeirão Preto, SP, 2017.
- SERAFIM, L.G.F. STOLF, R.; SILVA, J. R.; SILVA, L. C. F.; MANIERO, M. A. **Influência do plantio mecanizado no índice de brotação da cana-de-açúcar**. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, 10., 2012, Londrina. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA – CLIA/CONBEA, 41., 2012, Londrina. Anais... Londrina, [S.n.], 2012.
- SGARBI, F.; SILVEIRA, R. V. A.; HIGASHI, E. N.; PAULA, T. A.; MOREIRA, A.; RIBEIRO, F. A. **Influência da aplicação de fertilizantes de liberação controlada na produção de mudas de um clone de Eucalyptus urophylla**. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZAÇÃO E NUTRIÇÃO FLORESTAL, 2., 1999, Piracicaba. Anais... Piracicaba: IPEF-ESALQ, p. 120-125, 1999.
- SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.4, p. 289-302, 1981.
- SILVA, M. de A.; CARLIN, S. D.; CAMPANA, M. P.; LANDELL, M. G. A.; PERECIN, D.; VASCONCELOS, A.C.M. **Brotação da cana-de-açúcar em condições de casa de vegetação**. STAB: Açúcar Álcool e Subprodutos, v.22, p.28-31, 2003.

- SILVA, M. de A.; CARLIN, S. D.; PERECIN, D. **Fatores que afetam a brotação inicial da cana-de-açúcar.** Revista Ceres, v.51, p. 457-466, 2004.
- SILVA, W. M. **Termoterapia em gemas isoladas para controle do raquitismo da soqueira.** In: Seminário Copersucar da Agroindústria Açucareira. Águas de Lindóia, Anais... Águas de Lindóia: COPERSUCAR, 1975.
- SILVA, R. B. G.; SIMÕES, D.; SILVA, M. R. **Qualidade de mudas clonais de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* em função do substrato.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 16, n.3, p. 297-302, 2012.
- SIMÕES NETO, D. E. **Efeito da quantidade de reserva energética do tolete e da compactação do solo no desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*).** 1986. 94p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1986.
- SINGH, S. N. et al. **Comparative effect of polybag culture and conventional methods of planting at diferente dates on rapid multiplication of seed cane (*Saccharum species complex*) in subtropical India.** India Journal of Agriculturural Sciences, v.81, p.751-755, 2011.
- SWIADER, J. M.; CHYAN, Y.; FREIJI, F. G. **Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids.** Journal of Plant Nutrition, v.17, n.10, p. 1687-1699, 1994
- SEDIYAMA, M. A. N. et al. **Produtividade e exportação de nutrientes por rizomas de taro cultivado com resíduos orgânicos.** Revista Brasileira de Ciência Agrárias, v.04, n.04, p.421-425, 2009.
- SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar.** Piracicaba, SP: ND-LIVROCERES, 2006.
- SOUZA, Z. M.; JÚNIOR, J. M.; PEREIRA, G. T. **Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar.** Ciência Rural, v.40, n.01, p.48\*56, 2009.

- STOLF, R. & LEE, T.S.G. **Sistema comercial de plantio de plântulas de cultura de tecidos ou de gemas isoladas: plantio de estaca.** Álcool & Açúcar, São Paulo, v.10, n.53, p.20-25, mar./jun., 1990.
- TASSO JUNIOR, L. C.; MARQUES, M. O.; CAMILOTTIE, F. SILVA, T. **Extração de Macronutrientes em Cinco Variedades de Cana-de-Açúcar Cultivadas na Região Centro-Norte do Estado de São Paulo.** STAB, v.25, n.6, p.06-08, 2007.
- TOPPA, E. V. B.; JADOSKI, C. J.; JULIANETTI, A.; HULSHOF, T.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D. Aspectos da fisiologia de produção da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.3, p. 215-221, 2010.
- VARGAS, G.; MARQUES, R. **Crescimento e Nutrição de Angico e Canafístula sob Calagem e Gessagem.** Floresta e Ambiente, v.24, 2017.
- VIAN, Carlos Eduardo de Freitas; SILVA, Rodrigo Peixoto da; BARICELO, Luis Gustavo; PISSINATO, Bruno. EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO E MECANIZAÇÃO DA CANA: Evolução da Cana-de-Açúcar no Estado de São Paulo: Desafios e Perspectivas. In: BELARDO, Guilherme de Castro; CASSIA, Marcelo Tufaile; SILVA, Rouverson Pereira da. **Processos Agrícolas e Mecanização da Cana-de-açúcar.** Jaboticabal-SP: SBEA, 2015. p.73-88.
- VITTI, G. C.; OTTO, R.; FERREIRA, L. R. P. NUTRIÇÃO E ADUBAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR: Manejo nutricional da Cultura da Cana-de-açúcar. In: BELARDO, Guilherme de Castro; CASSIA, Marcelo Tufaile; SILVA, Rouverson Pereira da. **Processos Agrícolas e Mecanização da Cana-de-açúcar.** Jaboticabal-SP: SBEA, 2015. p.31-34.
- XAVIER, M. A.; LANDELL, M. G.; CAMPANA, M. P. **Fatores de desuniformidade e kit de pré-brotação IAC para sistema de multiplicação de cana-de-açúcar – mudas pré-brotadas (MPB).** Documento IAC, Campinas: Instituto Agrônomo, n.113, p.22, 2014.
- XAVIER, M. A.; **As 7 etapas do sistema de plantio de mudas pré-brotadas.** Documento IAC, Campinas, 2014.

XAVIER, M. A.; GARCIA, J. C.; LANDELL, M. G.; PETRI, R. H.; SILVA, L. P. M. **Avaliação de substratos para a produção de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar.** 10º Congresso STAB, Ribeirão Preto, 2016.

ZORZETO, T. Q. **Caracterização física e química de substratos para plantas e sua avaliação no rendimento do morangueiro (Fragaria x ananassa Duch.).** 2011. 110p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical I, Área de Concentração em Gestão de Recursos Agroambientais.). Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2011.