

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

**Fisiologia da emergência e perfilhamento em mini-toletes de  
variedades de cana-de-açúcar**

**Silvio Carlos Cristofolletti Junior**

**Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestre em Ciências. Área de concentração: Fisiologia e  
Bioquímica de Plantas**

**Piracicaba  
2012**

**Silvio Carlos Cristofolletti Junior**  
**Engenheiro Agrônomo**

**Fisiologia da emergência e perfilhamento em mini-toletes de variedades de cana-de-açúcar**

Orientador:  
Prof.Dr. **PAULO ROBERTO DE CAMARGO E CASTRO**

**Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Fisiologia e Bioquímica de Plantas**

**Piracicaba**  
**2012**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Cristofolletti Junior, Silvio Carlos

Fisiologia da emergência e perfilhamento em mini-toletes de variedades de cana-de-açúcar / Silvio Carlos Cristofolletti Junior. - - Piracicaba, 2012.  
92 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2012.

1. Análises tecnológicas 2. Biometria 3. Brotação 4. Cana-de-açúcar 5. Enzimas  
6. Metabólitos I. Título

CDD 633.61  
C355f

**"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"**



A minha esposa Tatiana, pelos grandes momentos que passamos juntos e por todo apoio e carinho que tive durante esse período.

DEDICO

OFEREÇO

Aos meus pais e meu irmão Marcel, por me ensinarem a importância da família em todos os momentos e de que a união e palavras de incentivo prevalecem mesmo que não estejamos juntos a todo instante.



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela oportunidade de realizar o mestrado e pelos bons momentos que tive durante essa fase da minha vida, pelas amizades e pelo apoio de minha família em todos os momentos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Paulo Roberto de Camargo e Castro pelos importantes ensinamentos e aprendizado vivenciados durante esse período.

Ao CTC – Centro de Tecnologia Canavieira, em especial a Tadeu Luiz Colucci de Andrade, Marcia Regina Frasson e Arnaldo José Raizer, pela confiança em mim depositada e pela oportunidade para que eu realizasse o mestrado.

Aos meus amigos e familiares, pelas palavras de incentivo e apoio, podendo dividir minhas experiências e vivências.

Aos meus sogros Norely e Roberto, pelo apoio nas horas mais difíceis e pelas palavras de incentivo nesse período.

Aos amigos Felipe, Mauro, Rubens, Roberto Rubio, Luiz Dizeró, Luis Clarete, Ana Carolina, Sérgio, Carlos, Claudio, Victor, Cristiane, Luciane e auxiliares de campo do CTC, pela convivência e dia-a-dia que tivemos durante o período do projeto.

A Cassiara, Noêmia, Fabiana e Sabrina, pelo auxílio e ensinamentos durante as atividades realizadas no laboratório do CTC.

Ao Prof. Dr. Luiz Antônio Gallo, Dr. Enio Tiago de Oliveira e Valentina de Fátima do CEBTEC pela orientação e auxílio técnico nas análises realizadas no laboratório.

Ao Prof. Dr. Carlos Tadeu dos Santos Dias pela ajuda nas análises estatísticas do trabalho.

Aos mestrandos Luciane e Giovani, pela ajuda e ensinamentos durante a realização das análises em laboratório.



“Ninguém quer saber o que fomos,  
o que possuímos, o que possuíamos,  
que cargo ocupávamos no mundo;  
o que conta é a luz que cada um  
já tenha conseguido fazer brilhar em si mesmo.

**Francisco Cândido Xavier**



## SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT .....	13
LISTA DE FIGURAS .....	15
LISTA DE TABELAS .....	16
1 INTRODUÇÃO .....	19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1 Importância da cana-de-açúcar no cenário econômico.....	21
2.2 Aspectos agrônômicos da cana-de-açúcar .....	22
2.3 Fenologia da cana-de-açúcar.....	23
2.3.1 Brotação.....	23
2.3.2 Emergência .....	26
2.3.3 Enraizamento inicial .....	27
2.3.4 Enfolhamento inicial .....	28
2.3.5 Invertases ácidas e neutras.....	28
2.3.6 Carboidratos e proteínas .....	33
2.3.7 Início do perfilhamento .....	34
2.3.8 Formação da touceira.....	35
2.3.9 Biometria da planta .....	36
2.3.10 Maturação dos colmos .....	37
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	39
3.1 Implantação do viveiro.....	39
3.2 Coleta dos mini-toletes .....	40
3.3 Implantação do experimento .....	41
3.4 Condução do experimento até os 45 DAP (dias após o plantio) .....	42
3.5 Condução do experimentos dos 45 aos 90 DAP .....	47
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
4.1 Análise tecnológica do viveiro .....	49

4.2 Experimento conduzido até os 45 DAP .....	51
4.3 Experimento conduzido dos 45 aos 90 DAP .....	63
4.4 Enzimas, carboidratos e proteínas .....	69
5 CONCLUSÕES .....	83
REFERÊNCIAS .....	85

## RESUMO

### **Fisiologia da emergência e perfilhamento em mini-toletes de variedades de cana-de-açúcar**

A cana-de-açúcar é uma das plantas cultivadas mais importantes no cenário econômico devido à produção de etanol, açúcar e subprodutos, sendo que o estado de São Paulo responde por 60% da produção nacional. Visto que a parte aérea da cana-de-açúcar é formada por colmos e estes contêm além de fibras e água, sólidos solúveis, destacando-se a sacarose, glicose e frutose, quando a planta cresce, o teor de sacarose aumenta nos entrenós mais velhos até a maturação; assim, as variedades se classificam em precoces, médias e tardias devido à época em que acumulam açúcar. A mobilização da sacarose envolve a atuação de enzimas invertases, as quais, através da hidrólise da sacarose, produzem glicose e frutose, disponibilizando às células carbono e energia para a respiração e síntese de compostos. Essas enzimas são importantes para caracterizar e avaliar o comportamento das variedades durante a safra agrícola. Para isso, estudou-se o comportamento de mini-toletes de cinco variedades de cana-de-açúcar, provenientes de gemas apicais, medianas e basais no colmo, durante as fases de emergência e perfilhamento, tendo como parâmetros a avaliação de caracteres fisiológicos como brotação de gemas, altura e diâmetro das plantas, perfilhamento, análises tecnológicas e a atividade de enzimas ligadas ao acúmulo de sacarose. Para a obtenção dos toletes, foi montado um viveiro no CTC – Centro de Tecnologia Canavieira, na cidade de Piracicaba/SP, em abril de 2010 e após 10 meses, os colmos foram cortados e os mini-toletes foram separados de acordo com a origem da gema no colmo: apicais, medianas e basais. Em seguida, estes foram plantados em bandejas plásticas, em casa de vegetação, no CTC. Os tratamentos foram montados em blocos casualizados em fatorial, com 6 repetições, sendo os parâmetros biométricos avaliados semanalmente até os 45 dias após o plantio (DAP). As amostras foliares foram coletadas, armazenadas e congeladas. Em seguida, uma planta de cada repetição foi transferida para caixa plástica e o experimento foi conduzido até os 90 DAP, realizando-se avaliações fisiológicas semanalmente. Aos 90 DAP, novas amostras de folhas foram coletadas e congeladas para uso posterior. Os resultados foram submetidos a análise de variância pelo teste F e comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. No experimento aos 45 DAP, as gemas apicais apresentaram maior brotação e maior altura de plantas. Além disso, CTC9 apresentou a maior porcentagem de brotação e maior altura de plantas, tal como a CTC2. Para o experimento conduzido dos 45 aos 90 DAP, CTC6 apresentou maior altura e diâmetro de plantas quando comparada as demais. Houve diferença significativa para a atividade da invertase ácida aos 45 e 90 DAP, ao nível de variedades e gemas. Comparando-se as análises realizadas aos 45 e 90 DAP, verifica-se que a atividade das invertases ácidas foi menor quando comparada a invertase neutra. A quantidade de açúcares redutores totais, açúcares solúveis totais e teor de proteínas aumentou no período avaliado, tanto para as variedades testadas quanto para a origem das gemas no colmo.

Palavras-chave: *Saccharum* spp.; Biometria; Brotação; Análises tecnológicas; Metabólitos; Enzimas



## ABSTRACT

### Physiology of the sprouting and tillering of small stalks of sugarcane varieties

Nowadays, the sugarcane is one of the major important crops around the world, because of the production of ethanol, sugar and byproducts, and the state of Sao Paulo represents 60% of national production. Since the aerial part of the sugarcane is formed by stalks and besides fiber and water, they contain soluble solids, especially sucrose, glucose and fructose, when the plant grows, the sucrose content increased in the older internodes until it reaches ripeness, so the varieties are classified into early, mid and late season, according the sugar concentration. The mobilization of sucrose involves the action of invertase enzymes, which promotes the sucrose hydrolysis, producing glucose and fructose, providing carbon and energy for respiration and synthesis of cell compounds. They are important to characterize and evaluate the behavior of varieties during the growing season. For this, we studied the behavior of small stalks of five sugarcane varieties, from apical, middle and basal buds in the stem during the emergency and tillering, evaluating physiological parameters as sprouting, height and diameter of plants, tillering, technological analysis and activity of some sucrose accumulation enzymes. To obtain the stalks with one bud, an experimental field was planted in april 2010 at CTC – Centro de Tecnologia Canavieira, Piracicaba/SP. After 10 months, the stalks were cut in single-bud stalks and separated according the origin of buds in the stem: apical, middle and basal. Then, these small stalks were planted in plastic trays in a greenhouse at the CTC. Experiments were conducted in a randomized factorial blocks with six replications, and biometric parameters were evaluated weekly until 45 days after planting (DAP). The leaf samples were collected, stored and frozen for analysis. Then one plant per replicate was transferred to plastic boxes and the experiment was conducted until 90 DAP, evaluating some physiological parameters weekly. At 90 DAP, others leaf samples were collected and frozen for later use determinations. The results obtained were subjected to analysis of variance by F test and compared by Tukey test at 5% probability. In the experiment conducted until 45 DAP, apical buds showed larger amount of buds and higher plant height. Moreover, CTC9 had the highest percentage of sprouting and higher plant height, such as CTC2. For the experiment conducted from 45 to 90 DAP, CTC6 showed higher plant height and diameter when compared to the others. Significant differences were observed for the acid invertase activity during 45 and 90 DAP, for varieties, buds and the effect of interaction varieties x buds. Comparing the analyzis carried out at 45 DAP and 90 DAP, it appears that the acid invertase enzyme activity was lower when compared to neutral invertase. The amount of reducing sugars, total soluble sugars and protein content increased in the study period for the varieties tested and the origin of the buds on the stem.

Keywords: *Saccharum* spp.; Biometrics; Sprouting; Technological analysis; Metabolites; Enzymes





## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Mapa de plantio contendo blocos ao acaso no esquema fatorial..... 42
- Figura 2 - Precipitação ( $\text{mm mês}^{-1}$ ), temperaturas máxima, média e mínima ( $^{\circ}\text{C}$ ) registradas durante o período de condução do experimento no Centro de Tecnologia Canavieira, Piracicaba/SP..... 51
- Figura 3 - Porcentagem média de gemas brotadas até os 42 DAP em relação às variedades ..... 52
- Figura 4 - Porcentagem média de gemas brotadas até os 42 DAP quanto a origem das gemas no colmo..... 52
- Figura 5 - Evolução no número médio de perfilhos durante o período de 21 até 42 DAP para as variedades testadas ..... 57
- Figura 6 – Número total e médio de perfilhos para as variedades provenientes de gemas apicais, medianas e basais ..... 58
- Figura 7 – Número total de perfilhos das plantas, aos 90 DAP, quanto a variedades e origem das gemas no colmo..... 67
- Figura 8 – Diâmetro médio dos perfilhos, expresso em mm, dos 45 aos 90 DAP, quanto às variedades testadas ..... 68
- Figura 9 – Diâmetro médio dos perfilhos, expresso em mm, dos 45 aos 90 DAP, para origem das gemas no colmo ..... 68

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Avaliações biométricas realizadas na condução do experimento até 42 DAP (dias após o plantio) em casa-de-vegetação .....	42
Tabela 2 - Avaliações biométricas realizadas na condução do experimento dos 45 aos 90 DAP em casa-de-vegetação.....	48
Tabela 3 – Número de gemas por colmo e colmos por metro nas parcelas avaliadas .....	49
Tabela 4 – Análise tecnológica dos parâmetros avaliados, sendo todos, pela ordem sce: pol % caldo extraído; pur: pureza do caldo; pol: pol % cana; fib: fibra % cana; u: umidade % cana; arj: açúcares redutores % caldo; ar: açúcares redutores % cana; atr: açúcares totais recuperáveis (kg/ t cana) e artc: açúcares redutores totais % cana (calculado) .....	50
Tabela 5 - Altura média das plantas expressa em cm, até os 42 DAP, em relação às variedades.....	56
Tabela 6 - Altura média das plantas, expressa em cm até os 42 DAP, em relação a origem das gemas no colmo .....	57
Tabela 7 – Área foliar expressa em cm <sup>2</sup> , número de folhas, massa fresca e seca das folhas (g), para a somatória de 6 plantas aos 42 DAP, em relação às variedades avaliadas .....	59
Tabela 8 – Área foliar expressa em cm <sup>2</sup> , número de folhas, massa fresca e seca das folhas (g), para a somatória de 6 plantas aos 42 DAP, em relação a origem das gemas no colmo .....	59
Tabela 9 – Comprimento de raízes expresso em centímetros, número de raízes, para a somatória de 6 plantas aos 42 DAP, em relação às variedades .....	62

Tabela 10 – Comprimento de raízes expresso em centímetros, número de raízes, para a somatória de 6 plantas aos 42 DAP, em relação a origem das gemas no colmo .....	62
Tabela 11 - Altura média das plantas, expressa em cm, dos 48 aos 90 DAP, em relação às variedades.....	64
Tabela 12 - Altura média das plantas, expressa em cm, dos 48 aos 90 DAP, em relação a origem das gemas no colmo .....	64
Tabela 13 - Diâmetro médio das plantas expresso em mm, dos 45 aos 90 DAP, em relação às variedades.....	65
Tabela 14 - Diâmetro médio das plantas expresso em mm, dos 45 aos 90 DAP, em relação a origem das gemas.....	66
Tabela 15 - Médias da atividade da invertase ácida (INA), $\mu\text{mol glicose h}^{-1} \text{ mg proteína total solúvel}^{-1}$ , invertase neutra (IN), $\mu\text{mol glicose h}^{-1} \text{ mg proteína total solúvel}^{-1}$ , aos 45 e 90 DAP, em folhas de cana-de-açúcar em relação às variedades estudadas.....	69
Tabela 16 - Médias da atividade da invertase ácida (INA), $\mu\text{mol glicose h}^{-1} \text{ mg proteína total solúvel}^{-1}$ , invertase neutra (IN), $\mu\text{mol glicose h}^{-1} \text{ mg proteína total solúvel}^{-1}$ , aos 45 e 90 DAP, em folhas de cana-de-açúcar em relação a origem das gemas .....	70
Tabela 17 - Médias do teor de açúcares redutores totais (AR), mg açúcar redutor g matéria fresca <sup>-1</sup> e açúcares solúveis totais (AST), mg açúcar solúvel total g matéria fresca <sup>-1</sup> em folhas de cana-de-açúcar, aos 45 e 90 DAP para as variedades estudadas.....	74
Tabela 18 - Médias do teor de açúcares redutores totais (AR), mg açúcar redutor g matéria fresca <sup>-1</sup> e açúcares solúveis totais (AST), mg açúcar solúvel total g	

matéria fresca<sup>-1</sup> em folhas de cana-de-açúcar, aos 45 e 90 DAP em relação a origem das gemas no colmo ..... 75

Tabela 19 - Médias do teor de proteína total solúvel (PTS), mg proteína total solúvel g matéria fresca<sup>-1</sup> em folhas de cana-de-açúcar, aos 45 e 90 DAP para as variedades estudadas ..... 78

Tabela 20 - Médias do teor de proteína total solúvel (PTS), mg proteína total solúvel g matéria fresca<sup>-1</sup> em folhas de cana-de-açúcar, aos 45 e 90 DAP em relação a origem das gemas no colmo ..... 78

## 1 INTRODUÇÃO

*Saccharum* spp, pertencente a família *Poaceae*, é uma gramínea perene originária de Nova Guiné, a qual apresenta metabolismo C4 e possui uma das maiores taxas fotossintéticas dentre as plantas cultivadas.

Desenvolve-se em forma de touceira, sendo a parte subterrânea formada por raízes e rizoma, os quais são responsáveis pela formação dos perfilhos. A parte aérea é formada por folhas, inflorescências e colmos, sendo que estes apresentam cerca de 10 a 16% de fibra e o restante equivale ao caldo absoluto, composto por água, sólidos solúveis, destacando-se os açúcares (sacarose, glicose e frutose), além da presença de aminoácidos, gorduras e ceras.

No país, a área de cultivada para o ano safra 2011/ 2012 está estimada em 8.434,3 mil hectares e a lavoura destinada para cana-de-açúcar continua em expansão. A produtividade média brasileira está avaliada em 69,824 kg/ ha e em 2009 o Brasil foi o maior produtor de cana-de-açúcar mundial, seguido de Índia e China. Entre os países de destino para açúcar refinado e bruto brasileiro, para o ano de 2008, destacaram-se Rússia, Nigéria e Arábia Saudita. Quanto ao etanol, os maiores países compradores do etanol brasileiro, em 2009, foram os Países Baixos, Jamaica e Índia.

Quando a cana-de-açúcar cresce, o teor de sacarose aumenta nos entrenós mais velhos até atingir estado de maturação, quando estabiliza a concentração de sacarose. Assim, as variedades de cana-de-açúcar se classificam em precoces, médias e tardias em relação a época em que acumulam açúcar, tendo períodos de maturação distintos.

A mobilização da sacarose envolve a atuação de enzimas invertases e seu transporte até o ponto de consumo. Essas enzimas, através da hidrólise, quebram a sacarose em hexoses, formando uma molécula de glicose e outra de frutose, disponibilizando às células carbono e energia para a respiração e síntese de compostos. Uma das utilizações das invertases seria o uso como indicadores do rendimento de açúcar em variedades de cana-de-açúcar nos programas de melhoramento genético, para caracterizar e avaliar o comportamento das variedades durante a safra agrícola.

A pesquisa teve por objetivo estudar o comportamento de mini-toletes de cinco variedades de cana-de-açúcar, provenientes de gemas apicais, medianas e

basais no colmo, durante as fases de emergência e perfilhamento, tendo como parâmetros a avaliação de caracteres fisiológicos como brotação de gemas, altura e diâmetro das plantas, perfilhamento, análises tecnológicas e a atividade de enzimas ligadas ao acúmulo de sacarose.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Importância da cana-de-açúcar no cenário econômico

Segundo o DIEESE (Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos), o setor sucroalcooleiro representa 2,3% do PIB nacional, sendo responsável por 3,6 milhões de empregos diretos e indiretos na região Centro-Sul e Nordeste do país. Do total produzido pelo Centro-Sul, 90% se destina a produção de açúcar e álcool, sendo que a produção do Estado de São Paulo corresponde a 60% da produção nacional de cana-de-açúcar.

No país, a área cultivada para o ano safra 2011/2012 está estimada em 8.434,3 mil hectares (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2011) e a lavoura destinada para cana-de-açúcar continua em expansão, sendo mais significativa nos estados de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Goiás e Mato Grosso, respectivamente (CONAB, 2011), com a previsão de que sejam criadas 73 novas unidades, principalmente em Minas Gerais e Mato Grosso do Sul (ANUÁRIO DA CANA, 2010).

A produtividade média brasileira atual está estimada em 69,824 kg/ ha, 9,8% menor do que a safra 2010/2011, devido a falta de chuvas no segundo semestre de 2010, ocorrência de geadas em algumas regiões produtoras de São Paulo, norte do Paraná e sudoeste do Mato Grosso do Sul e ao intenso florescimento de algumas variedades de cana-de-açúcar em São Paulo, Minas Gerais e Goiás (CONAB, 2011).

Dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento evidenciam que o setor sucroalcooleiro brasileiro é tido como referência no cenário internacional em decorrência dos baixos custos de produção de açúcar e álcool e pela utilização de resíduos na obtenção de energia (BRASIL, 2007). O Brasil representa 44% do comércio mundial de açúcar (CONAB, 2011) e em 2009 foi o maior produtor de cana-de-açúcar mundial, o que equivale a 40,42% da produção, seguido de Índia e China (FAO, 2009).

Entre os países de destino para açúcar refinado e bruto brasileiro, para o ano de 2008, destacaram-se Rússia (22,52% das exportações brasileiras), Nigéria (6,98%) e Arábia Saudita (6,47%). Os dez maiores países representam 64,53% das exportações brasileiras, expressas em milhares de toneladas (UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA, 2011).

Quanto ao etanol, os maiores países compradores do etanol brasileiro, em 2009, foram os Países Baixos, Jamaica e Índia, com 20,39%, 13,36% e 11,22%, respectivamente, sendo que os dez maiores compradores equivalem a 86,9% do etanol produzido no país, expresso em milhões de litros (UNICA, 2011).

## 2.2 Aspectos agrônômicos da cana-de-açúcar

Pertencente a família *Poaceae*, a cana-de-açúcar é originária de Nova Guiné (SEGATO et al., 2006; JAMES, 2004) e atualmente é cultivada em uma ampla faixa de latitude, desde cerca de 35° N a 30° S e em altitudes que variam desde o nível do mar até 1000 metros, em cerca de 79 países (RODRIGUES, 1995) sendo a duração do período de crescimento vegetativo bastante variável: 9 a 10 meses nos EUA e até dois anos no Peru, África do Sul e Havaí (AUDE, 1993).

Apresenta metabolismo C4, pois forma compostos orgânicos com quatro carbonos e possui uma das maiores taxas fotossintéticas, chegando a saturação a  $0,9 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$  (AUDE, 1993), sendo que as características das variedades influenciam a eficiência fotossintética da cana, além das variações climáticas que ocorrem durante o desenvolvimento da cultura (RODRIGUES, 1995). Segundo Câmara (1993), para colmos morfológica e fisiologicamente maduros, as 5 primeiras folhas do ápice são consideradas as mais eficientes no processo fotossintético.

Além disso, a cana-de-açúcar apresenta eficiência na utilização e resgate de  $\text{CO}_2$  da atmosfera (SEGATO et al., 2006; CÂMARA, 1993), podendo chegar até 100 mg de  $\text{CO}_2$  fixado por  $\text{dm}^2$  de área foliar por hora (RODRIGUES, 1995), para a manutenção da matéria seca obtida e na formação e crescimento de novas estruturas, como extremidades apicais de novos perfilhos, formação de raízes, desenvolvimento de novas folhas e alongamento dos entrenós (CÂMARA, 1993).

Camargo (1976) relata que os fatores mais importantes para o crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar são água, nutrientes e hormônios vegetais.

A cana-de-açúcar se desenvolve em forma de touceira, sendo a parte aérea formada por colmos (caule típico de gramíneas), folhas, inflorescências e frutos. A parte subterrânea é formada por raízes e rizoma (caules subterrâneos, espessos, ricos em reservas, providos de nós e entrenós e de crescimento horizontal) e são responsáveis pela formação dos perfilhos na touceira (SEGATO et al., 2006).



De acordo com Blackburn (1984), as condições ideais para crescimento da cana seriam: estações de crescimento quentes com temperaturas médias diárias em torno de 30 °C, com umidade do ar adequada e alta incidência de radiação solar.

Segundo trabalhos realizados no Havai e citados por Câmara (1993) e Camargo (1976), a melhor faixa de temperatura está entre 34 e 37 °C, sendo valores entre 21 a 44 °C considerados extremos limitantes para a brotação das gemas. Abaixo de 19 °C, o processo de brotação é afetado significativamente, não ocorrendo crescimento vegetativo (AUDE, 1993) e temperaturas menores que 10 °C são lesivas às brotações.

Para o amadurecimento, Blackburn (1984) relata que as épocas de colheita devem ser mais frias, com temperaturas entre 10 a 20 °C, mas livres de geadas, secas e com alta incidência de radiação solar.

Em relação a composição tecnológica dos colmos, estes apresentam cerca de 10 a 16% de fibra e o restante equivale ao caldo absoluto. Desse percentual, 75 a 82% equivale a água e o restante é representado pela presença de sólidos solúveis, destacando-se os açúcares (sacarose, glicose e frutose) e não açúcares (orgânicos: aminoácidos, gorduras, ceras e pigmentos, além de componentes não orgânicos: SiO<sub>2</sub>, CaO, MgO, Cl e K<sub>2</sub>O) (CESAR; SILVA, 1993).

### **2.3 Fenologia da cana-de-açúcar**

A cultura da cana-de-açúcar apresenta quatro estádios fenológicos bem definidos, cada um composto por quatro etapas (GASCHO; SHIH, 1983; CÂMARA, 1993; RIPOLI et al., 2006; AUDE, 1993), subdividas em quatro fases cada. A fenologia foi relatada por Lucchesi (1987) e Câmara (1993) como sendo o estudo dos fenômenos periódicos da vida de uma planta ou cultura em relação às condições ambientais.

A primeira fase, descrita como brotação e emergência, encontra-se subdividida nos itens abaixo.

#### **2.3.1 Brotação**

As gemas são constituídas de células e tecidos em estado de latência e grande diferenciação celular (AUDE, 1993).

A presença de umidade no solo promove o intumescimento da gema e dos primórdios radiculares localizados na região do nó. A brotação rompe as folhas lignificadas da gema saindo pelo poro germinativo e se desenvolve em direção à superfície do solo. Ao mesmo tempo surgem as raízes adventícias do tolete e o consumo das reservas nutricionais do tolete aumenta (RIPOLI et al., 2006). Após o plantio, ocorrendo condições ambientais favoráveis, principalmente relacionadas a temperatura e umidade, iniciam-se as atividades meristemáticas nos primórdios radiculares e no poro da gema, resultando no desenvolvimento das raízes adventícias do tolete e na emergência de uma pequena brotação na superfície do solo.

Sendo o tolete o segmento de um colmo maduro, contém feixes vasculares (xilema e floema), que promovem a ligação fisiológica entre a brotação e as raízes em um desenvolvimento inicial, com as reservas armazenadas nas células parenquimáticas do tolete. Assim, os novos pontos de crescimento funcionam como drenos fisiológicos, dando continuidade em seu crescimento e desenvolvimento (CÂMARA, 1993).

Nesta fase do desenvolvimento inicial, a brotação é dependente das reservas do tolete e os novos pontos de crescimento atuam como drenos fisiológicos (SEGATO et al., 2006).

A brotação das gemas nos toletes de cana-de-açúcar depende de fatores endógenos e exógenos descritos por Dillewijn (1952), Humbert, (1968) e Alexander (1973) e a formação das raízes adventícias está diretamente relacionada com a proliferação dos perfilhos (CASTRO, 2000). De acordo com Aude (1993), a brotação das gemas é um dos processos que requer maior atenção, pois a determinação da futura população de plantas no campo dependerá dessa fase, que ocorre de 2 a 3 semanas após o plantio.

De acordo com Almeida (1994), podem ser observados os seguintes estágios de gemas em um mesmo colmo:

- Gemas jovens e em formação (apicais): gemas do palmito até as de número três e quatro;
- Gemas maduras e latentes (medianas): se encontram na região mediana do colmo;
- Gemas em início de brotação (basais): geralmente se encontram mais próximas do nível do solo.

Em relação ao manejo, ou seja, fatores inerentes à planta e ao ambiente pode-se citar: sanidade e estado nutricional das mudas, período entre o corte das mudas e plantio (uma vez que esse período de espera pode promover o aumento da brotação dos toletes provenientes da ponta do colmo, devido a perda de umidade após o corte), profundidade de plantio, cobertura das mudas com terra (uma vez que a brotação e emergência consomem parte das reservas nutritivas contidas no tolete e também não pode ser muito rasa, pois permitiria a rápida evaporação da água contida nos primeiros centímetros superficiais do solo) e tratamento térmico (CÂMARA, 1993).

### **2.3.1.1 Dominância apical**

A dominância apical é definida como controle exercido pela haste em crescimento no desenvolvimento de brotações laterais, enquanto que a inibição correlativa inclui a supressão do crescimento por outros ramos em desenvolvimento.

De acordo com Wood (1976) e Taiz e Zeiger (2009), assim que ocorre a brotação, esta induz a formação de auxina, fazendo com que as demais gemas não brotem ou atrasem a brotação, resultando em menor taxa de brotação quando comparadas com rebolos com menor número de gemas. Além disso, o seccionamento da muda visa quebrar a dominância apical exercida pela gema do ápice, que pelo fluxo basípeto (transporte polar) de auxina, inibe a brotação de gemas laterais, mantendo-as em dormência.

Esse processo de inibição do crescimento de gemas laterais pela auxina foi verificado em plantas transgênicas de fumo, as quais com altos teores de auxina possuem pouca brotação lateral, sendo provável que a auxina iniba o desenvolvimento das gemas indiretamente através da ação de polipeptídeos ou oligossacarinas.

Segundo Cebim (2007), auxina promove a biossíntese de enzimas específicas que atuam na degradação de polissacarídeos específicos da parede celular do colmo, produzindo oligossacarídeos capazes de inibir o desenvolvimento das gemas laterais, que se manteriam dormentes.

De acordo com Ferguson e Beveridge (2009), o nível, sinalização e fluxo de auxinas nos ramos e gemas estão envolvidos nesse processo. Além disso, RAMOSUS (RMS), genes de ramificação de ervilha, controlam a síntese e a

percepção do sinal inibitório de brotação produzido nos ramos e raízes por uma strigolactona. Tratamentos com auxina (IAA) afetam a expressão dos genes RMS, mas não sabe se os genes RMS podem regular a rebrota, independentemente da auxina. O teor de auxina no ramo não é sempre suficiente para promover a rebrota, podendo estar relacionado com restrição na síntese de citocinina (CK) necessária para a proliferação das gemas. Gemas dormentes podem ser induzidas a um estado responsivo quando se tornam receptivas a sinais; perda da dominância apical (corte da cepa) leva a uma rápida resposta não mediada por IAA. Desenvolvimento das gemas axilares (inibição correlativa) é afetado por deficiência de strigolactona e pela redução na disponibilidade de nutrientes, usados no crescimento das brotações. Strigolactona inibe o desenvolvimento das brotações, enquanto que citocinina promove. O conteúdo de IAA aumenta nas gemas responsivas, sendo exportado para o interior dos ramos, levando uma brotação a desenvolver um eficiente sistema vascular e drenar nutrientes para o crescimento. O desenvolvimento do ramo fica dependente da disponibilidade de nutrientes.

### **2.3.2 Emergência**

Ocorre cerca de 20 a 30 dias após o plantio. A brotação é um caule em miniatura que emerge acima da superfície do solo, também chamado de colmo primário (SEGATO et al., 2006; AUDE, 1993). De acordo com Câmara (1993), nessa fase, as raízes do tolete estão maiores e com maior capacidade de absorver água e nutrientes do solo, enquanto que a brotação se apresenta com a espessura de 5 a 8 mm ao nível da superfície do solo. A gema apical vegetativa assume o crescimento em altura, resultando em uma sucessão de nós e entrenós, formando o colmo de cana-de-açúcar e continuará seu crescimento em altura assumido pela gema apical (SEGATO et al., 2006). Para Ripoli et al. (2006) essa fase está diretamente relacionada à qualidade da muda, ambiente, época e manejo de plantio. Nessa etapa, as raízes dos toletes encontram-se bem desenvolvidas e aptas para absorver água e nutrientes do solo, enquanto a brotação se apresenta com pequena espessura sobre o solo, adquirindo coloração verde (capacidade fotossintética).

Segundo Cebim (2007), a taxa de emergência aumenta com a elevação da temperatura, evidenciando seu efeito. Além disso, a emergência é afetada pela quantidade de reserva energética nos toletes de cana-de-açúcar (SIMÕES NETO,

1986). De acordo com o autor, utilizando diferentes tamanhos de mini-toletes de cana (apenas o nó; o nó mais metade do entrenó inferior; o nó mais o entrenó inferior e metade do superior; o nó mais os entrenós inferior e superior), quanto maior a quantidade dessa reserva, mais rapidamente a gema brotará e mais vigorosa será a brotação, pois a gema se utiliza das reservas do tolete para emergir e da água e nutrientes absorvidos pelas raízes de fixação, que são as primeiras a se formar a partir dos primórdios radiculares localizados na zona radicular.

Além disso, foram encontrados incrementos no número de perfilhos, comprimento do sistema radicular, peso da matéria seca da parte aérea da planta, das raízes e do tolete.

Dillewijn (1952) também realizou experimento para verificar a quantidade de reserva energética para a planta, utilizando toletes de uma gema, cada vez menores, com o intuito de reduzir a quantidade de reserva nutritiva até que esta fosse apenas contida na casca do nó. Desse modo, o autor concluiu que quanto maior o entrenó, melhor a germinação e o desenvolvimento da brotação.

Trabalhos realizados por alguns autores como Clements (1940), Mutton (1990), Quintela (1996) e Marchiori (2004) demonstraram que o uso de toletes ao invés da cana inteira, resultou em maior velocidade de brotação. Além disso, os resultados dependem das variedades e das condições ambientais.

### **2.3.3 Enraizamento inicial**

Duas a três semanas após a emergência iniciam-se o aparecimento de raízes fibrosas na base do colmo primário, com a função de fixação no solo e absorção de nutrientes. Segundo Ripoli et al. (2006) em conjunto com as raízes do tolete forma-se o sistema radicular primordial da futura touceira. Para Segato et al. (2006), nessa fase, tanto a brotação como as raízes dependem das reservas nutritivas armazenadas no tolete.

O sistema radicular da cultura é muito amplo e bem desenvolvido, do tipo fasciculado, iniciando-se através dos primórdios radiculares da zona radicular do entrenó plantado. Estas raízes permitem o desenvolvimento inicial e a fixação da touceira no solo (DILLEWIJN, 1952; RIPOLI et al., 2006). Cesar e Silva (1993) verificaram que a maior densidade de raízes se encontra nos primeiros 50 centímetros de profundidade do solo. A partir dos 90 dias, a cana-de-açúcar vai

dependem exclusivamente das raízes emitidas pelos perfilhos e o sistema radicular se concentra nos primeiros 30 centímetros.

#### **2.3.4 Enfolhamento inicial**

De acordo com Ripoli et al. (2006), o crescimento em altura do colmo primário, devido a dominância da gema apical vegetativa, permite a expansão das primeiras folhas, aumentando a capacidade e atividade fotossintética da planta jovem. Nessa etapa, ocorre maior consumo das reservas nutricionais do tolete.

#### **2.3.5 Invertases ácidas e neutras**

Segundo Gracida-Rodríguez et al. (2005), a invertase ou  $\beta$ -D-frutofuranosídeo-frutohidrolase é a enzima responsável pela liberação do resíduo L-D-frutofuranosídeo não-redutor através da molécula de dissacarídeo. Seu substrato principal é a sacarose e de acordo com Eschrich (1980), as invertases quebram a sacarose em hexoses, através da hidrólise, formando uma molécula de glicose e outra de frutose, disponibilizando as células carbono e energia para a respiração e síntese de compostos. De acordo com Peters et al. (1996), a hidrólise da invertase é importante na regulação do acúmulo de sacarose, pois a atividade da invertase decresce quando a cana-de-açúcar alcança sua maturidade.

No entanto, segundo Fiedurek et al. (2000) e Moura et al. (2007) as invertases podem hidrolisar rafinose e estaquiose. Thom e Maretzki (1992) verificaram a existência de inibição competitiva no transporte da sacarose pela glicose, rafinose e principalmente frutose.

De acordo com Bowen e Hunter (1971) e Lingle (1989), glicose e frutose são transportadas até o interior dos tecidos imaturos do parênquima da cana-de-açúcar, através da mesma rota, sendo que essa rota simplástica, segundo Thom e Maretzki (1992), inclui a transferência direta da sacarose do floema até as células parenquimáticas de armazenamento via plasmodesmos. De acordo com Komor et al. (1996), o ciclo do metabolismo da sacarose decresce devido a maturação do parênquima. Além disso, a síntese de sacarose é acompanhada da presença das enzimas sacarose sintase (ligada a hidrólise da sacarose nos tecidos maduros) e da

sacarose-fosfato sintase nos entrenós mais jovens, a qual tem sua atividade aumentada com a maturação dos colmos.

Segundo Komor et al. (1996), existe um ciclo rápido de síntese e liberação de açúcar através da membrana plasmática, que sempre foi maior do que a taxa de síntese de sacarose. Nos entrenós mais jovens, a síntese de hexoses foi sempre mais rápida do que a síntese de sacarose, enquanto nos entrenós mais maduros o fluxo de sacarose predominou devido a ausência de hexoses nos tecidos.

Outra opção de transporte seria a rota apoplástica (WELBAUM; MEINZER, 1990), através do descarregamento da sacarose nos tecidos do apoplasto seguido de captação da sacarose ou dos produtos resultantes da hidrólise pela invertase da parede celular até as células de armazenamento (THOM; MARETZKI, 1992). De acordo com Welbaum e Meinzer (1990), o apoplasto dos colmos do tecido de cana-de-açúcar representa um importante compartimento de armazenamento, uma vez que contêm altas concentrações de solutos, osmoticamente ativos, o que equivale a 20% de sacarose.

No entanto, para Lingle (1989), o transporte em suspensões celulares de cana-de-açúcar, glicose e frutose não competem pela mesma rota. Para o mesmo autor, após a inversão da sacarose, glicose e frutose e seus derivados fosforilados são transportados para os compartimentos de armazenamento celular antes da sacarose ser ressintetizada.

A enzima invertase possui grande importância, pois além de ter sido a primeira identificada como biocatalisadora, foi através dela que se criou a hipótese de chave-fechadura para a atividade das enzimas, além da aplicação da equação de Michaelis-Menten, o conceito de ponto isoelétrico e a hipótese de que o complexo enzima substrato se encontra em estado estacionário e não em equilíbrio (MOURA, 2007). Além disso, está envolvida no transporte de sacarose a longas distâncias devido a formação de gradiente de concentração de sacarose entre os sítios de carregamento e descarregamento do floema (ESCHRICH, 1980).

Uma das utilizações das invertases, citada por Alexander (1967,1973) e Vieira et al. (1996) é que podem ser usadas como indicadores para comprovar o rendimento de açúcar em variedades de cana-de-açúcar, nos programas de melhoramento genético. Para Vieira (1988), o uso das enzimas invertases para o melhoramento genético de plantas em bases fisiológicas, teria possibilidade de sucesso em relação a eficiência fotossintética, a qual é reflexo das interações

fisiológicas básicas da planta. Segundo Madan (1980) e Vieira, (1988), a utilização desse parâmetro tem a função de caracterizar, avaliar e melhorar, a médio e longo prazo, o material genético das variedades.

De acordo com Larsem (1969), as diferenças bioquímicas são mais numerosas do que as morfológicas, pois nem todas as alterações bioquímicas são expressas morfológicamente.

Sampietro et al. (1980) e Fleischmacher (1980) e Lingle e Smith (1991) relatam que diferentes invertases ocorrem em diferentes tecidos da cana-de-açúcar e também em diferentes estádios, dentro de um mesmo tecido. Vieira et al. (1996) cita que as várias formas isoenzimáticas da invertase desempenham importante papel no metabolismo de açúcares como parte integrante do sistema fonte-dreno em cana-de-açúcar, sendo que as variedades têm como característica genética um comportamento fisiológico e agrônômico diferenciado. Além disso, verificou a relação que as invertases possuem na mobilização, utilização e acúmulo de sacarose nas variedades testadas de cana-de-açúcar. Dessa forma, para Vieira (1988), a atividade das enzimas invertases é parte integrante do sistema de regulação do fluxo de açúcar nos tecidos de cana-de-açúcar, embora o mecanismo ainda não tenha sido totalmente esclarecido.

Segundo Prado (1978) existe analogia entre a atividade das invertases da bainha foliar e a das invertases dos tecidos maduros e em crescimento, devido a compartimentalização intracelular das enzimas, o que é comprovado pelas diferenças dos valores de pH de invertases ligadas às paredes celulares dos tecidos analisados. De acordo com Moore (1994), embora essa compartimentalização seja importante, o estudo da expressão gênica através da codificação das enzimas específicas que são utilizadas nesses processos metabólicos são cada vez mais essenciais; bem como o uso de novas tecnologias como manipulação genética, tal como alguns estudos realizados por Albert et al.(1996), Grof et al. (1996) e Peters et al. (1996), através da expressão de genes ligados a atividade das enzimas invertases ácidas, sacarose-fosfato sintase e transgênicos com redução da atividade da invertase ácida nos vacúolos, respectivamente.

Além disso, para Vieira (1988), a sacarose é o único produto de acumulação no espaço interno e os açúcares redutores aumentam como consequência de sua inversão no espaço externo e a única alternativa seria a compartimentalização das enzimas invertases nas células dos entrenós onde a ação conjunta de suas formas



isoenzimáticas, resulta na produção das duas hexoses a partir da inversão da sacarose, pois segundo Lingle e Smith (1991), enquanto as invertases ácidas solúveis estão localizadas nos apoplasto e vacúolo, as invertases neutras se encontram no citoplasma.

De acordo com Glasziou (1960) e Vieira (1983), a invertase não é apenas sintetizada, mas também é degradada durante o crescimento, ou seja, sofre constantes mudanças, pois sua meia-vida em plantas de cana-de-açúcar é de cerca de duas horas. Segundo Gayler (1972), os resultados indicam que a ação da invertase está correlacionada ao crescimento e produção de açúcares e desde que a produção de matéria seca em cana é derivada da sacarose, a qual antes de ser metabolizada é hidrolisada por invertases, deve existir alguma relação entre ação dessas enzimas, aumento do teor de matéria seca e velocidade de crescimento celular.

A invertase ácida solúvel é composta pelo somatório das invertases da parede celular e do vacúolo, sendo encontrada em maior quantidade principalmente nos tecidos imaturos, pois a expansão celular desses tecidos necessita de hexoses como fonte de energia e carbono para alongamento celular e aumento da extensão da parede celular (GAYLER, 1972). Segundo Vieira (1983), a invertase ácida se relaciona a processos de inversão da sacarose e produção de hexoses para suprir exigências de energia e carbono que mantêm as reações nos estádios iniciais do desenvolvimento, sendo identificada correlação positiva da enzima com o crescimento do tecido de cana-de-açúcar (VIEIRA et al., 1996). Outra importância estaria relacionada com as mudanças nos teores de açúcares durante o crescimento, pois parece estar estreita e inversamente relacionada com o conteúdo de sacarose e de açúcares totais. Os níveis de invertase ácida ligada à parede celular refletem a hidrólise da sacarose *in situ*, ou seja, localizada no vacúolo e no espaço externo a essa organela, antes de entrar nas vias metabólicas das células armazenadoras do parênquima (VIEIRA et al., 1996).

Embora já esteja bem estabelecido que a sacarose, após sua biossíntese nas folhas, seja o principal composto que é mobilizado como tal da folha para o colmo, muito pouco é conhecido sobre os mecanismos bioquímicos que regulam o processo de migração (HARTT, 1963). Segundo a hipótese de Vieira (1988), as invertases presentes nas lâminas foliares, hidrolisam a sacarose recém-formada em suas hexoses constituintes, as quais entrarão nas vias metabólicas da própria folha,

e parte para os reservatórios de armazenamento do colmo, possivelmente através das bainhas.

De acordo com Zhu (1996), o armazenamento de sacarose na cana-de-açúcar é resultado do ciclo de síntese da sacarose e da hidrólise da sacarose, o que envolve a coordenação de várias enzimas, sendo que a atividade da invertase ácida solúvel é um fator crítico para a regulação da acumulação de sacarose.

Vieira (1983) constatou que a atividade da invertase ácida foi sempre maior do que a neutra, principalmente nas folhas e também nas regiões do colmo e folha. Hatch e Glasziou (1963) observaram a existência de uma correlação entre atividade de invertases ácidas e taxa de crescimento de tecidos imaturos, além da atividade de invertase neutra e conteúdo de açúcares em tecidos armazenadores (colmo) da cana-de-açúcar adulta.

Segundo Vieira (1988), a invertase ácida está localizada do lado externo da célula ou na superfície celular e tem um papel fundamental na regulação da quantidade de açúcares dentro da célula através de uma dupla função: hidrolisando uma grande proporção de sacarose para as funções celulares e indiretamente, através do controle exercido pelas hexoses sobre a atividade da invertase neutra.

Já a invertase neutra, controla o fluxo de açúcares em tecidos armazenadores maduros (GAYLER, 1972). Segundo os autores mencionados acima, durante a divisão e alongamento celular, as células dos entrenós de cana-de-açúcar contêm grandes quantidades de invertase ácida solúvel, que tendem a diminuir logo depois que termina o alongamento celular, enquanto que as células mais maduras possuem invertase ácida insolúvel (extensão do crescimento celular), ligada a parede celular e uma neutra. Invertase ácida solúvel ou componente vacuolar, se relaciona a regulação do potencial pressão no reservatório interno de açúcares. Segundo Vieira (1988), a invertase neutra parece ser uma enzima citoplasmática, como tem sido indicado pelos valores de pH ótimo e sua distribuição nos homogenizados de células. De acordo com Gayler (1972), nos tecidos maduros do colmo ocorre declínio da concentração de invertase ácida solúvel e aumento de atividade da invertase neutra, principalmente no citoplasma, devido ao término dos processos de crescimento.

Hatch e Glasziou (1963) verificaram que a atividade da invertase é influenciada por fatores varietais, climáticos e nutricionais, que igualmente influenciam todas as fases do ciclo da planta. Desse modo, Vieira (1988) relata que

os resultados para as medições de invertases determinadas por suas atividades em condições ácidas e neutras, variaram muito com a idade da planta, tipo de tecido e variedade de cana-de-açúcar, sugerindo a existência de vias metabólicas distintas e uma diferente expressão do genoma de cada tecido. Além disso, de acordo com o mesmo autor, a atividade das invertases sofre alterações devido a mudanças de temperatura ou deficiência de água, uma vez que mudanças de temperatura influenciam nas atividades das enzimas que sintetizam e hidrolisam a sacarose, afetando o movimento de sacarose dos tecidos da fonte para o dreno e sua posterior acumulação (BATTA; SINGH, 1986).

Segundo Leite (2009), nas folhas, consideradas como fonte, ocorre a síntese de carboidratos, os quais são translocados para os drenos, sob a forma de sacarose, para suprir o metabolismo e desenvolvimento vegetal, além de ser acumulado na forma de sacarose ou amido. De acordo com Alexander (1973) o acúmulo de sacarose depende da maturidade dos tecidos, havendo diferenças entre tecidos maduros e imaturos, no que se refere à concentração de invertases e ao crescimento e desenvolvimento de cada uma das partes.

### **2.3.6 Carboidratos e proteínas**

De acordo com Thind (1991), a região da gema apresenta maior teor de proteínas (enzimáticas e estruturais) devido a grande quantidade de tecido meristemático e por estarem envolvidas com atividades metabólicas mais intensas. Conforme Melo et al. (1995), nos locais em que se encontram as gemas, ocorre maior síntese e degradação de proteínas, além da translocação de aminoácidos provenientes de outras localidades.

Para os autores acima, com o início da brotação, ocorre a síntese de novas proteínas (incluindo enzimas proteolíticas) e o aparecimento de formas solúveis de proteínas a partir de corpos protéicos pré-existentes, liberando grande quantidade de proteínas, aumentando seu teor.

Segundo Thind (1991) e Melo et al. (1995), devido a alta atividade de proteases, ocorre aumento na taxa de liberação de polipeptídeos de cadeia curta e de aminoácidos livres, a partir de corpos protéicos, resultando em acúmulo, pois nessa fase não estão sendo consumidos nas mesmas taxas em que estão sendo liberados.

### 2.3.7 Início do perfilhamento

Para Suguitani (2006) e Cebim (2007), o perfilhamento é o processo de emissão de colmos por uma mesma planta, os quais são denominados perfilhos e este processo varia entre as variedades comerciais de cana-de-açúcar, dentro da mesma espécie e manejo cultural. Além disso, Doust (2007) relata que o perfilhamento em gramíneas é controlado geneticamente e sofre influência das variações ambientais. Para Guimarães et al. (2005), as regiões brasileiras produtoras de cana-de-açúcar possuem condições ideais para a maturação natural da cultura.

Segundo Ripoli et al. (2006), nesse estágio, as gemas localizadas na base do colmo primário se intumescem e ao emergirem, cerca de 30 dias após a emergência do colmo primário, são observadas novas brotações, denominados colmos secundários, iniciando-se assim o perfilhamento. Cada perfilho comporta-se como uma planta independente devido a presença de sua própria raiz, colmo e folhas, embora esteja interligado com os demais que compõem a touceira.

De acordo com Aude (1993), o número de perfilhos decresce em função da competição por luz, água e nutrientes. O perfilhamento de cada variedade resultará no número de gemas por metro e a brotação da soqueira de cada material genético.

Segundo Casagrande (1991) o perfilhamento aumenta até a temperatura máxima de 30 °C. Quanto aos fatores que afetam o perfilhamento, Câmara (1993), Alexander (1973) e Ripoli et al. (2006) mencionam a temperatura, umidade e aeração do solo, nutrientes e ventos. Quanto aos fatores bióticos, relatam a presença de pragas, doenças e competição com plantas invasoras. Quanto ao manejo, os autores Câmara (1993), Camargo (1976) e Segato et al. (2006) citam a adubação, manejo das plantas invasoras, espaçamento utilizado, época de corte e de plantio e profundidade de plantio.

Segundo Aude (1993), a influência da radiação no perfilhamento é muito grande, pois seu efeito se relaciona com a produção de auxinas no ápice da planta. Em presença de radiação solar adequada, diminui o transporte das auxinas para a base do colmo, quebrando a inibição das gemas, que produzem novos colmos. Além disso, o efeito da intensidade da radiação solar está relacionado com substâncias hormonais, as quais são produzidas pelo ápice dos colmos e fluem em direção à base dos mesmos.

De acordo com Câmara (1993), essas substâncias atuam no alongamento dos colmos e na inibição do desenvolvimento das gemas laterais, sendo que sob alta luminosidade, reduz-se o fluxo destas substâncias diminuindo sua concentração ao longo do colmo, pois segundo Camargo (1976), a corrente basípeta de auxinas diminui devido a foto-destruição, o que reduz a velocidade de alongamento e resulta na produção de novos colmos. Além disso, sob baixa intensidade luminosa reduz-se o perfilhamento, pois ao mesmo tempo que as auxinas promovem o alongamento, também impedem o desenvolvimento das gemas laterais.

De acordo com os autores Dillewijn (1952) e Ripoli et al.(2006), nem todos os perfilhos sobrevivem até o final do ciclo, sendo que além da brotação, o perfilho primário deve ter alta capacidade para captar a radiação solar.

### **2.3.8 Formação da touceira**

Para Ripoli et al. (2006), o processo de perfilhamento consiste na brotação sequencial de gemas a partir do colmo primário, que origina os secundários e assim sucessivamente, até um limite. O perfilhamento define a formação da touceira da cana-de-açúcar e a população de colmos que serão colhidos. As demais etapas dessa fase envolvem o enraizamento da touceira.

O processo de perfilhamento continua a ocorrer através da sucessiva brotação de gemas basais localizadas nos colmos anteriores (CÂMARA, 1993).

Em seguida há o aparecimento das etapas de crescimento dos colmos, crescimento radicular vigoroso, área foliar máxima e definição da população final de colmos. Nesses estádios ocorre o estabelecimento definitivo da cultura, pois o número de perfilhos por unidade de área associada ao início do acúmulo de sacarose nos colmos determina a futura produtividade ou fitomassa (toneladas/ha) da cultura. Nesse estágio ocorre intensa divisão celular, diferenciação e alongamento celular, resultando em aumento de matéria seca total da planta (AUDE, 1993).

De acordo com experimentos realizados pela Planalsucar (1986), com o incremento da temperatura acima de 20 °C ocorre aumento no comprimento, diâmetro e número de entrenós, sendo que James (2004) relata que o comprimento e diâmetro dos entrenós são afetados pela umidade, nutrição e temperatura.

Segundo Segato et al. (2006), novas brotações surgem das gemas da base dos perfilhos secundários, originando perfilhos terciários, não dependendo mais a cana-de-açúcar das substâncias de reserva dos toletes, pois devido ao aparato fotossintético da touceira, as folhas existentes nos colmos secundários e primários, são fotossinteticamente autossuficientes.

### **2.3.9 Biometria da planta**

Segundo Machado et al. (1982), as medidas biométricas das plantas durante a estação de crescimento permitem a utilização de índices fisiológicos na tentativa de explicar as diferenças varietais quanto à produção econômica; sendo os índices fisiológicos deduzidos a partir da variação temporal da fitomassa e da área foliar.

De acordo com Suguitani (2001), a área foliar está correlacionada com a produtividade das plantas, pois as folhas interceptam a luz fotossinteticamente ativa para a realização da fotossíntese, produzindo carboidratos que serão utilizados em todo ciclo fenológico da planta. Segundo Machado et al. (1982), a intensidade de crescimento foliar na fase inicial do desenvolvimento da cana-de-açúcar é o fator mais importante na taxa de crescimento e na biomassa acumulada, principalmente no desenvolvimento da matéria seca da parte aérea em relação aos colmos.

Segundo o mesmo autor, a produção da cana-de-açúcar, pela parte da planta, é resultado de vários componentes fenológicos, tais como: número de perfilhos, altura de colmos, diâmetro de colmos e densidade dos colmos. De acordo com Landell e Silva (1995) e Carlin et al. (2008), a produtividade agrícola pode ser estimada por parâmetros biométricos, entre eles: diâmetro e comprimento dos colmos, número de colmos por área e densidade do colmo. Mariotti (1971) e James (1971) também relataram que dentre os parâmetros biométricos utilizados, os que apresentam maior correlação com a produção seriam o número de colmos, altura, diâmetro de colmos e densidade, respectivamente.

Machado et al. (1982) dividiu o crescimento da parte aérea da cana-de-açúcar, em relação a matéria seca, em três etapas: fase inicial, em que o crescimento é lento, que vai de março a outubro (plantio a 200 dias); fase de crescimento rápido, de outubro a maio (200 a 400 dias), que é quando 75% da fitomassa total é acumulada, e fase final de crescimento lento, de maio a agosto (400 a 500 dias), que corresponde a 11% da fitomassa total. Para Gava (2001),

Silveira (1985) e Suguítani (2006), a curva de acúmulo de fitomassa da parte aérea segue normalmente uma curva de função logística, ou seja, apresenta um crescimento inicial exponencial, diminuindo ao longo do tempo, até finalmente o crescimento ficar estacionário. Já a produção de matéria seca segue uma sigmóide (se inicia lentamente, aumentando de forma exponencial até determinado momento e depois se nivela).

Quanto ao desenvolvimento dos colmos, Lingle e Smith (1991), citam que o tempo médio de produção do entrenó de cana-de-açúcar é de uma semana, sendo que enquanto o entrenó apical se encontra em alongação, os entrenós basais já estão completamente alongados.

### **2.3.10 Maturação dos colmos**

Nos meses iniciais de crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar, os processos de armazenamento de açúcar operam em tecidos imaturos e nos colmos com pequeno número de nós, com entrenós completamente desenvolvidos, perto da base do colmo. Nessa fase é o crescimento, ao invés de armazenamento de açúcar, a atividade primária da planta. Na planta, foi criado previamente um potencial para acumulação de açúcar no tecido de armazenamento já formado, conhecido como processo de maturação (ALEXANDER, 1973).

Para Segato et al. (2006) a maturação dos colmos representa a última etapa do ciclo fenológico da cana-de-açúcar e determina a qualidade da matéria-prima dos colmos industrializáveis, devido ao intenso acúmulo de sacarose, através das seguintes etapas: maturação inicial, do terço médio e final dos colmos e o momento da colheita (RIPOLI et al., 2006). Ao completar o ciclo, diminui a assimilação (produção de glicose e frutose), paralisa o crescimento, e inicia a concentração de açúcar até atingir valores aceitáveis pela indústria, sendo que o amadurecimento se realiza entrenó por entrenó. Nas plantas jovens, o conteúdo de sacarose apresenta-se máximo ao nível do solo, decrescendo rapidamente no sentido da base para a ponta do colmo. Quando a planta cresce, o teor de sacarose aumenta nos entrenós mais velhos até atingir estado de maturação, quando se estabiliza a concentração de sacarose (SANTOS, 1977).

Segundo Aude (1993), as variedades de cana-de-açúcar se classificam em precoces, médias e tardias em relação a época em que acumulam açúcar, tendo

períodos de maturação diferentes. Assim, a concentração de sacarose nas variedades se altera até a colheita, com a tendência de se reduzir em períodos mais quentes e úmidos, se tornando mais elevada com temperaturas mais amenas ou em condições de estresse hídrico durante o crescimento.

De acordo com Melo et al. (1995), a mobilização da sacarose envolve atuação e transporte de enzimas invertases ou dos compostos resultantes da sua degradação, até o ponto de consumo, sugerindo a ocorrência da conversão da sacarose em outras substâncias ainda no tolete, pois no experimento, ocorreu maior redução nos teores de sacarose do que na matéria seca dos toletes. Para Dillewijn (1952) e Melo et al. (1995), junto às reduções nos teores de sacarose, ocorrem aumentos nos teores de amido durante a fase de brotação, sugerindo uma interconversão destas substâncias.

Segundo Melo et al. (1995), a mobilização de sacarose envolve a sua degradação "in loci" onde é utilizada para formação de outras substâncias e o seu transporte na forma molecular até a região da gema (ponto de consumo). Nas porções que contém a gema, era de se esperar altos teores de açúcares redutores pois lá ocorre a degradação da sacarose, no entanto, não foram encontrados, assim, os resultados reafirmam ser esta região de intensa atividade metabólica, onde a sacarose ao atingir esse ponto, é imediatamente utilizada.



### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Implantação do viveiro

No dia 15 de abril de 2010, foi montado um viveiro no CTC – Centro de Tecnologia Canavieira, na cidade de Piracicaba/SP, no delineamento 8x11, ou seja, 8 sulcos com 11 metros de comprimento. As mudas foram provenientes de um talhão com 10 meses de idade. A densidade de gemas por sulco de plantio foi de 15 gemas/metro linear. Uma semana após o plantio foi efetuada a irrigação do talhão.

Nesse viveiro, foram plantadas as seguintes variedades: CTC2, CTC4, CTC6, CTC7 e CTC9. No mês seguinte, foi realizada adubação, na dose de 500 kg/ha da formulação 4-20-20 de NPK. Nos meses de agosto e setembro de 2010, foi realizada aplicação de 60 kg/ha de uréia nessas parcelas.

Aos oito meses de desenvolvimento (8 de fevereiro de 2011) foi efetuada uma avaliação do número de gemas nas parcelas. Para o total de colmos/ metro, foram efetuadas 5 amostragens, ao acaso, de um metro, dentro da parcela, de modo a representar toda a área experimental. Dentro de cada metro contínuo, medido com o auxílio de uma trena de campo, foram contados os totais de colmos e o total de gemas. Para o número de gemas por metro, foi realizada a contagem do número de gemas em cada colmo e efetuada a média das amostragens.

A seguir, segue um pequeno resumo com as características de cada variedade avaliada, pertencentes a 1º e 2º Geração de Variedades CTC:

CTC2 – Destaca-se pela sua rusticidade e é recomendada para colheita do meio para o final da safra, em ambientes de médio potencial de produção. Apresenta fibra média, pouco florescimento e média isoporização.

CTC4 – Apresenta alto teor de sacarose e alta produtividade, sendo recomendada para colheita ao longo da safra toda, em ambientes de alto a médio potencial de produção. Apresenta fibra baixa, médio florescimento e baixa isoporização.

CTC6 – Tem como ponto forte a alta produtividade agrícola, sendo manejada para colheita do meio para o final da safra em ambientes de alto a médio potencial de produção. Apresenta alto teor de sacarose, baixo teor de fibra, médio florescimento e pouca isoporização.

CTC7 – Possui alto teor de sacarose e precocidade e é indicada para colheita no início da safra em ambientes de alto a médio potencial de produção. Apresenta fibra média, pouco florescimento e pouca isoporização.

CTC9 – Tem alto teor de sacarose e sua precocidade a fez recomendada para colheita no início de safra, em ambientes de médio a baixo potencial de produção. Apresenta fibra média, médio florescimento e pouca isoporização.

No dia 7 de abril de 2011, às 7 horas da manhã, foi retirada uma amostra de cada parcela, consistindo de 10 colmos. Para efeito dessa amostragem, foram excluídas duas linhas de bordadura para cada lado, selecionando-se os colmos das parcelas ao acaso. Esse material foi levado ao laboratório de análises tecnológicas do CTC e foram obtidos os resultados de peso do bolo úmido (PBU) e peso do bolo seco (PBS), expressos em gramas; leitura polarimétrica; brix % do caldo extraído; volume corrigido na titulação, expressos em mL e diluição do caldo utilizado na titulação.

### **3.2 Coleta dos mini-toletes**

Em seguida, com o auxílio de um facão desinfetado com solução 0,2% de amônia quaternária (cloreto de alquil dimetil benzil amônio – Amonex T.A), foram cortados 30 colmos de cada variedade, para permitir a limpeza das impurezas nos dois lados da lâmina.

Após a limpeza, os colmos foram seccionados em toletes contendo uma gema, com cerca de 5 centímetros de comprimento e realizou-se uma triagem da viabilidade das gemas, de modo a eliminar aquelas que estavam lesionadas, atacadas ou deterioradas. Após a seleção das gemas individualizadas, os mini-toletes foram separados em basais, medianos e apicais da seguinte maneira:

- Gemas apicais: 4 primeiras gemas viáveis do ápice de cada colmo.
- Gemas basais: 4 últimas gemas viáveis da base de cada colmo. Nesse caso, o corte basal foi feito mais próximo do solo, para se conseguir o máximo de gemas dessa posição.
- Gemas medianas: descartando-se as 4 gemas basais e apicais, restavam as gemas da região mediana.

### 3.3 Implantação do experimento

O experimento foi montado em casa de vegetação, no CTC, em bandejas plásticas de 28 células no dia 8 de abril de 2011. Os tratamentos foram realizados em blocos casualizados em fatorial, com 6 repetições. O fatorial variedade possui 5 níveis (CTC2, CTC4, CTC6, CTC7 e CTC9) e o fatorial gema possui 3 níveis (origem das gemas no colmo: basais, medianas e apicais).

No total, havia 90 parcelas, sendo que cada uma possuía 14 gemas, o que totaliza 84 gemas para o nível basal, 84 para mediano e 84 para apical, totalizando 252 gemas por variedade, ou seja, 1260 gemas para o plantio do experimento. As bandejas de 28 células foram completadas até a metade com substrato vegetal contendo em sua composição casca de pinus e eucalipto, vermiculita, carvão vegetal, rocha calcárea, superfosfato simples, nitrato de amônio, esterco bovino, farelos e tortas de origem vegetal. Quanto as características físicas e químicas, o substrato possui pH 6, umidade 60%, densidade de base seca de  $380/m^3$ , capacidade de retenção de água (CRA) igual a 150% m/m, condutividade elétrica (CE) igual a 1 mS/cm.

Em seguida, as gemas foram colocadas, todas viradas para cima, de acordo com a disposição do sorteio e as células foram recobertas com a metade restante de substrato e irrigadas.

Após o plantio, as irrigações foram efetuadas diariamente, sempre no início da manhã.

Na Figura 1, encontra-se a distribuição dos tratamentos e casualização dos blocos e parcelas, na casa-de-vegetação.

49	43	19	31	55	50	62	2	44	38	15	81	3	87	39
G1B1					G1B2					G1B3				
CTC9 ponta	CTC9 meio	CTC4 pé	CTC4 ponta	CTC7 pé	CTC9 ponta	CTC7 meio	CTC2 pé	CTC9 meio	CTC9 pé	CTC2 ponta	CTC6 meio	CTC2 pé	CTC6 ponta	CTC9 pé
8	79	25	73	61	74	32	8	14	56	63	45	27	33	9
CTC2 ponta	CTC6 meio	CTC4 meio	CTC6 pé	CTC7 meio	CTC6 pé	CTC4 ponta	CTC2 meio	CTC2 ponta	CTC7 pé	CTC7 meio	CTC9 meio	CTC4 meio	CTC4 ponta	CTC2 meio
85	7	1	67	37	68	86	20	80	26	21	51	75	57	69
CTC6 ponta	CTC2 meio	CTC2 pé	CTC7 ponta	CTC9 pé	CTC7 ponta	CTC6 ponta	CTC4 pé	CTC6 meio	CTC4 meio	CTC4 pé	CTC9 ponta	CTC6 pé	CTC7 pé	CTC7 ponta
28	15	22	64	82	89	77	35	71	17	18	30	6	84	48
G1B4					G1B5					G1B6				
CTC4 meio	CTC2 ponta	CTC4 pé	CTC7 meio	CTC6 meio	CTC6 ponta	CTC6 pé	CTC4 ponta	CTC7 ponta	CTC2 ponta	CTC2 ponta	CTC4 meio	CTC2 pé	CTC6 meio	CTC9 meio
88	70	76	34	52	53	23	5	11	29	54	24	78	66	42
CTC6 ponta	CTC7 ponta	CTC6 pé	CTC4 ponta	CTC9 ponta	CTC9 ponta	CTC4 pé	CTC2 pé	CTC2 meio	CTC4 meio	CTC9 ponta	CTC4 pé	CTC6 pé	CTC7 meio	CTC9 pé
10	46	4	40	58	47	65	59	83	41	90	60	12	36	72
CTC2 meio	CTC9 meio	CTC2 pé	CTC9 pé	CTC7 pé	CTC9 meio	CTC7 meio	CTC7 pé	CTC6 meio	CTC9 pé	CTC6 ponta	CTC7 pé	CTC2 meio	CTC4 ponta	CTC7 ponta

Figura 1 - Mapa de plantio contendo blocos ao acaso no esquema fatorial

### 3.4 Condução do experimento até os 45 DAP (dias após o plantio)

As avaliações biométricas realizadas até os 45 DAP encontram-se na Tabela 1:

Tabela 1 - Avaliações biométricas realizadas na condução do experimento até 42 DAP (dias após o plantio) em casa-de-vegetação

DAP	Parâmetros avaliados
7	Gemas brotadas e % de brotação
14	Gemas brotadas e % de brotação
21	Gemas brotadas; % de brotação; Número de perfilhos e Altura
28	Gemas brotadas; % de brotação; Número de perfilhos e Altura
35	Gemas brotadas; % de brotação; Número de perfilhos; Altura
42	Gemas brotadas; % de brotação; Número de perfilhos; Altura; Área foliar e Massa seca das folhas

De acordo com metodologia sugerida por Kuijper, a altura das plantas foi medida da base da planta, partindo da superfície do solo, até a última região auricular visível da folha M+1 (DILLEWIJN, 1952), pois como essa é a folha mais desenvolvida, o deslocamento ocasionado pelo crescimento será resultado do crescimento do colmo.

Aos 42 DAP, foram selecionadas, ao acaso, duas plantas por parcela de cada bloco, referente a cada interação, o que representa 12 plantas para cada efeito

da interação (variedade x origem da gema), ou seja, 180 plantas e estas foram levadas até o laboratório de Fisiologia Vegetal do Professor Ricardo Ferraz, na ESALQ/ USP para a determinação da área foliar, realizado através do equipamento da LI-Cor Biosciences modelo 3100. Foram retiradas todas as folhas das plantas e estas foram colocadas no sistema de leitura para a determinação da área foliar, expressa em centímetros quadrados e a contagem no número de folhas. Esse equipamento determina a área foliar pelo contraste de luz existente entre uma fonte interna e os limites da área foliar.

Nessas mesmas amostras foram efetuadas a medição da altura do colmo principal e diâmetro do mesmo, expressos em centímetros e milímetros, respectivamente.

Em seguida, as folhas foram embaladas em sacos de papel, etiquetados e levados novamente ao laboratório de Análises Tecnológicas do CTC. Assim, as amostras, devidamente identificadas, foram pesadas com auxílio de uma balança digital para a determinação da massa fresca da parte aérea.

Após essa etapa, esses materiais foram levados para estufa de secagem, permanecendo a 75°C durante 12 horas. Passado esse período, os materiais foram pesados novamente, obtendo-se assim o valor de massa seca da parte aérea. Pela diferença existente entre a massa seca e fresca, obteve-se o valor da % de umidade dos materiais analisados.

Aos 45 dias, foram coletadas a folha M+1 (metodologia descrita por Kuijper), ou seja, a primeira folha formada que possui a lígula visível, sendo as folhas mais velhas e consecutivas denominadas M+2, M+3 e assim sucessivamente. Foi selecionada, ao acaso, uma planta de cada bloco, para verificar o efeito da interação.

As folhas M+1 das plantas selecionadas foram cortadas com auxílio de uma tesoura limpa com álcool 70%, enroladas e colocadas dentro de sacos plásticos corretamente identificados, para serem mantidos em recipiente contendo nitrogênio líquido durante a amostragem. Do limbo foliar, descartou-se a nervura principal e foi selecionado apenas o terço médio das folhas.

Após a coleta de todas as folhas, as amostras foram mantidas a -80°C no laboratório de Biotecnologia do CTC.

Em seguida, as amostras foram maceradas com nitrogênio líquido, em cadinhos de cerâmica, no laboratório de Fitossanidade do CTC. Após a trituração e

homogeneização, esse material foi colocado, com o auxílio de uma espátula esterilizada, dentro de pequenos recipientes de vidro, corretamente identificados e levados novamente para armazenamento a  $-80^{\circ}\text{C}$ .

Em seguida, as amostras foram transferidas para o laboratório de Biotecnologia Agrícola (CEBTEC, ESALQ/ USP), para as análises bioquímicas, tal como descritas a seguir:

### **3.4.1 Preparo dos extratos e determinação das atividades específicas das enzimas invertases ácida e neutra**

Foram preparados 3 tampões para as determinações enzimáticas:

- Tampão 1: Tampão fosfato de sódio 0,2 M (pH 7,5), com 2-mercaptoenol 1 mM,  $\text{MnSO}_4$  10  $\mu\text{M}$  750 mg de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (VIEIRA, 1983).
- Tampão 2: Tampão acetato de sódio 0,2 M para invertase ácida (pH 5,5), com ácido acético 0,2 M, 1,2 mL/100mL de água deionizada e acetato de sódio anidro 1,64 g /100mL de água deionizada (VATTUONE et al., 1981).
- Tampão 3: Tampão acetato de sódio 0,2 M para invertase neutra (pH 7,0), com ácido acético 0,2 M, 1,2 mL/100 mL de água deionizada e acetato de sódio anidro 1,64/100 mL de água deionizada (VATTUONE et al., 1981).

As amostras foram retiradas do freezer a  $-80^{\circ}\text{C}$  e pesou-se, com auxílio de uma balança digital, 500 mg de cada exemplar do material vegetal, sendo cada amostra transferida para um tubo de ensaio de plástico. Em seguida, adicionou-se 2 mL do Tampão 1 e estes foram centrifugados a 3000 rpm por 10 minutos a  $4^{\circ}\text{C}$ . Após esse procedimento, o sobrenadante 1 foi transferido para novos tubos etiquetados e ao precipitado foi adicionado 2 mL do tampão 1 e realizada a mesma centrifugação descrita acima, obtendo-se assim o sobrenadante 2. Os dois sobrenadantes foram misturados e agitados, gerando um único extrato, mantido em gelo.

#### **3.4.1.1 Reação para invertase ácida**

Em tubos de ensaio foram pipetados 200  $\mu\text{L}$  do extrato, 700  $\mu\text{L}$  do tampão 2 e 100  $\mu\text{L}$  de sacarose 0,2 M. Em seguida, foram colocados em banho-maria a

37°C durante 30 minutos. Para as amostras controle ou padrão foram adicionados 200 µL de água deionizada ao invés do extrato obtido.

Após esse tempo, foram retirados do banho-maria e deixados em temperatura ambiente. Assim, acrescentou-se 1 mL do reativo de Somogy e as amostras foram levadas ao banho a 100°C por 10 minutos. Após esse período, as amostras foram retiradas do banho e adicionou-se 1 mL do reativo de Nelson e 7 mL de água deionizada, para a leitura no espectrofotômetro a 540 nm.

#### **3.4.1.2 Reação para invertase neutra**

Em tubos de ensaio foram pipetados 200 µL do extrato, 700 µL do tampão 3 e 100 µL de sacarose 0,2 M. Para as amostras controle ou padrão foram adicionados 200 µL de água deionizada ao invés do extrato obtido.

Em seguida, foram colocados em banho-maria a 37°C por 30 minutos. Após esse período, as amostras foram retiradas do banho e deixadas a temperatura ambiente. Em seguida, adicionou-se 1 mL do reativo de Somogy e as amostras foram levadas ao banho a 100°C por 10 minutos. Feito isso, adicionou-se 1 mL do reativo de Nelson e 7 mL de água deionizada, para a leitura no espectrofotômetro a 540 nm.

### **3.4.2 Carboidratos**

#### **3.4.2.1 Determinação dos teores de açúcares redutores (AR)**

A determinação dos teores de AR foi realizada pelo método de Somogyi e Nelson descrito por Nelson (1944), modificado. O reagente de Somogyi foi preparado dissolvendo-se 28g de  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  mais 40g de tartarato duplo de sódio e potássio em 700 mL de água deionizada. Adicionou-se 100 mL de NaOH 1N. A seguir, sob agitação constante, gotejou-se 80 mL de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  a 10% e acrescentou-se 180 g de  $\text{NaSO}_4$  anidro. O volume foi aferido para 1L e acondicionado em frasco escuro que ficou em repouso por 48 horas. O reagente de Nelson foi preparado dissolvendo-se 50 g de  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  em 450 mL de água deionizada. Cuidadosamente, adicionou-se 56 mL de ácido sulfúrico concentrado e acrescentou-se 6g de  $\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  dissolvido em 50 mL de  $\text{H}_2\text{O}$ .

O volume foi aferido para 1L e acondicionado em frasco escuro, tendo ficado armazenado por 48 horas.

Para a extração dos açúcares, 100 mg de cada amostra foram transferidas para tubos plásticos e adicionou-se 5 mL de água deionizada. Após agitação, a mistura foi incubada em banho-maria a 60° C por 30 minutos, seguida por centrifugação a 3.000 rpm por 5 minutos. Após esse procedimento, foi realizada a coleta do sobrenadante (extrato 1). O precipitado foi submetido as mesmas etapas descritas acima, obtendo-se, assim, o extrato 2. O extrato 1 e 2 foram misturados. Desse total do extrato final, 1 mL foi pipetado para novo tubo, além de 1 mL do reagente de Somogyi. Em seguida, as amostras foram levadas a banho em 100 °C durante 10 minutos. Após o período, as amostras foram resfriadas, naturalmente, a temperatura ambiente, e adicionou-se 1 mL do reagente de Nelson. A solução final foi analisada em espectrofotômetro a 540 nm.

Os teores de AR foram calculados pela interpolação dos resultados na curva padrão de glicose. Os resultados foram expressos em mg de glicose g<sup>-1</sup> de MMS.

#### **3.4.2.2 Determinação dos teores de açúcares solúveis totais (AST)**

A determinação dos teores de AST foi efetuada pelo método fenol-sulfúrico descrito por Dubois et al. (1956). 100 mg de cada amostra foram transferidas para tubos plásticos, adicionando-se 5 mL de água deionizada. Após isso, a mistura foi incubada em banho-maria a 60° C durante 30 minutos e em seguida realizou-se a centrifugação a 3.000 rpm por 5 minutos. Após esse período, o sobrenadante foi transferido para novo tubo (extrato 1) e o precipitado foi submetido aos mesmos procedimentos, obtendo-se assim o extrato 2. O extrato 1 e 2 foram misturados. Desse total do extrato final, 0,5 mL foi pipetado para novo tubo, além de 0,5 mL da solução de fenol 5% e 2,5 mL de ácido sulfúrico concentrado (realizado em capela). Após o resfriamento da reação a temperatura ambiente, foi realizada a leitura colorimétrica em espectrofotômetro a 490 nm. Os teores de AST foram calculados pela interpolação dos resultados na curva padrão de glicose. Os resultados foram expressos em mg de glicose g<sup>-1</sup> de MMS.



### **3.4.3 Proteínas**

#### **3.4.3.1 Determinação da concentração de proteína total solúvel (PTS)**

Para a determinação das proteínas totais solúveis (PTS), as amostras foram retiradas do freezer a  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , tendo sido pesadas 500 mg de cada amostra do material vegetal. O material foi transferido para um eppendorf e adicionou-se 1 mL da solução de extração (contendo tampão TRIS-HCl, 50 mM, pH 7,5; mercaptoetanol, 2 mM; EDTA, 1 mM).

O material foi homogeneizado e em seguida centrifugado a 10.000 rpm durante 10 minutos a  $4^{\circ}\text{C}$ . O sobrenadante foi transferido para outro eppendorf etiquetado e acondicionado em recipiente com gelo moído e ao precipitado foi adicionado 1 mL da solução de extração e realizada a mesma centrifugação descrita acima.

Os dois sobrenadantes foram misturados e agitados, gerando um único extrato, mantido em gelo. Em seguida, foi efetuada a determinação da concentração de proteína de acordo com a metodologia descrita por Bradford (1976). A reação foi realizada com 20  $\mu\text{L}$  do extrato preparado, adicionando-se 1,0 mL de reagente de Bradford e a leitura colorimétrica da reação, realizada em espectrofotômetro a 595 nm. Para as amostras controle ou padrão, adicionou-se 20  $\mu\text{L}$  de água deionizada.

A concentração de PTS das amostras foi calculada a partir da curva padrão preparada com albumina de soro bovino (BSA). Os resultados obtidos foram expressos em  $\text{mg g}^{-1}$  de matéria fresca (MF).

### **3.5 Condução do experimentos dos 45 aos 90 DAP**

Em seguida, as mesmas plantas utilizadas para a coleta das folhas, foram transplantadas para caixas plásticas nas seguintes dimensões: comprimento x largura x altura (38,70 x 28 x 9,80 cm) contendo substrato vegetal com as mesmas descrições do experimento conduzido até os 45 DAP e na mesma casa de vegetação.

Foram transplantadas 5 plantas em cada caixa, num experimento inteiramente ao acaso, contendo 5 repetições por efeito da interação (gema x variedade), ou seja, 75 plantas.

A irrigação foi realizada diariamente, preferencialmente durante o início da manhã.

Foi efetuada a medição da altura das plantas e diâmetro das plantas, expressos em centímetros e milímetros, até os 90 DAP, com intervalo de 7 dias entre as avaliações, tal como pode ser visualizado na Tabela 2.

Tabela 2 - Avaliações biométricas realizadas na condução do experimento dos 45 aos 90 DAP em casa-de-vegetação

<b>DAP</b>	<b>Parâmetros avaliados</b>
48	Altura, diâmetro e número de perfilhos
55	Altura, diâmetro e número de perfilhos
62	Altura, diâmetro e número de perfilhos
69	Altura, diâmetro e número de perfilhos
76	Altura, diâmetro e número de perfilhos
83	Altura, diâmetro e número de perfilhos
90	Altura, diâmetro e número de perfilhos

Aos 90 DAP, foi realizada nova coleta de folhas, seguindo esquema de numeração da folha M+1, para a realização de análises bioquímicas, tal como foi descrito para o experimento conduzido até os 45 DAP.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análise tecnológica do viveiro

Na Tabela abaixo, encontram-se os resultados para a contagem do número de gemas nas parcelas selecionadas, aos oito meses de desenvolvimento.

Tabela 3 – Número de gemas por colmo e colmos por metro nas parcelas avaliadas

<b>Variedade</b>	<b>Número de gemas no colmo</b>	<b>Número de colmos/metro</b>	<b>Número de gemas/metro</b>
CTC2	7	19	133
CTC4	8	22	176
CTC6	8	21	168
CTC7	12	16	192
CTC9	13	20	260

Verifica-se na Tabela 3 que as variedades CTC7 e CTC9 apresentaram o maior número de gemas/colmo em relação as demais, no entanto, a CTC4 possuía a maior quantidade de colmos por metro. Considerando-se o número de gemas/metro, nota-se que a variedade CTC9 apresentou maior número de gemas em relação as demais.

Segundo Segato et al. (2006) e Câmara (1993), em colmos jovens, de 8 a 10 meses, a gema apical não exerce dominância em relação as gemas laterais, além disso, ao se utilizar colmos mais velhos para o plantio, estes apresentam menor teor de glicose e sais minerais, além de brácteas de proteção da gema mais lignificadas e salientes, resultando em maiores danos e menor número de gemas brotadas.

A seguir, na Tabela 4, encontram-se os resultados para a amostragem das parcelas realizada no Laboratório de Análises Tecnológicas, no CTC, para os parâmetros Pol, pureza, fibra, umidade e açúcares redutores e totais.

Tabela 4 – Análise tecnológica dos parâmetros avaliados, sendo todos, pela ordem SCE: Pol % caldo extraído; PUR: Pureza do caldo; POL: Pol % cana; FIB: Fibra % cana; U: Umidade % cana; ARj: Açúcares redutores % caldo; AR: Açúcares redutores % cana; ATR: Açúcares Totais Recuperáveis (kg/ t cana) e ARTc: Açúcares redutores totais % cana (calculado)

<b>Variedades</b>	<b>Brix</b>	<b>SCE</b>	<b>PUR</b>	<b>POL</b>	<b>FIB</b>
CTC2	13,87	9,88	71,20	8,64	10,10
CTC4	15,55	11,67	75,00	10,28	9,70
CTC6	12,07	7,66	63,50	6,93	8,12
CTC7	16,20	12,65	78,10	11,05	10,19
CTC9	16,00	13,10	81,90	11,60	9,41

<b>Variedades</b>	<b>U</b>	<b>ARj</b>	<b>AR</b>	<b>ATR</b>	<b>ARTc</b>
CTC2	77,40	2,46	2,16	102,00	11,25
CTC4	76,30	2,07	1,82	114,00	12,64
CTC6	80,80	3,27	2,95	92,80	10,25
CTC7	75,30	1,75	1,53	119,00	13,16
CTC9	76,10	1,35	1,20	121,00	13,41

Verifica-se na Tabela 4 que a CTC9 e CTC7 apresentaram os maiores valores de Pol e brix, o que confirma sua característica de precocidade, sendo manejadas para início de safra. CTC2 e CTC6, por serem variedades recomendadas para meio e final de safra, apresentaram um valor de brix, para o mês de abril, inferior as demais variedades. O valor de fibras das variedades ficou dentro da faixa esperada, iniciando-se em cerca de 10% no mês de abril, podendo atingir valores de 16% em outubro.

Os dados agrometeorológicos foram coletados da Estação Meteorológica Automática instalada no CTC (latitude 22° 42' 04" e longitude 47° 33' 29") e as leituras diárias foram registradas, diariamente, às 7 horas da manhã, tal como se encontram na Figura 2.

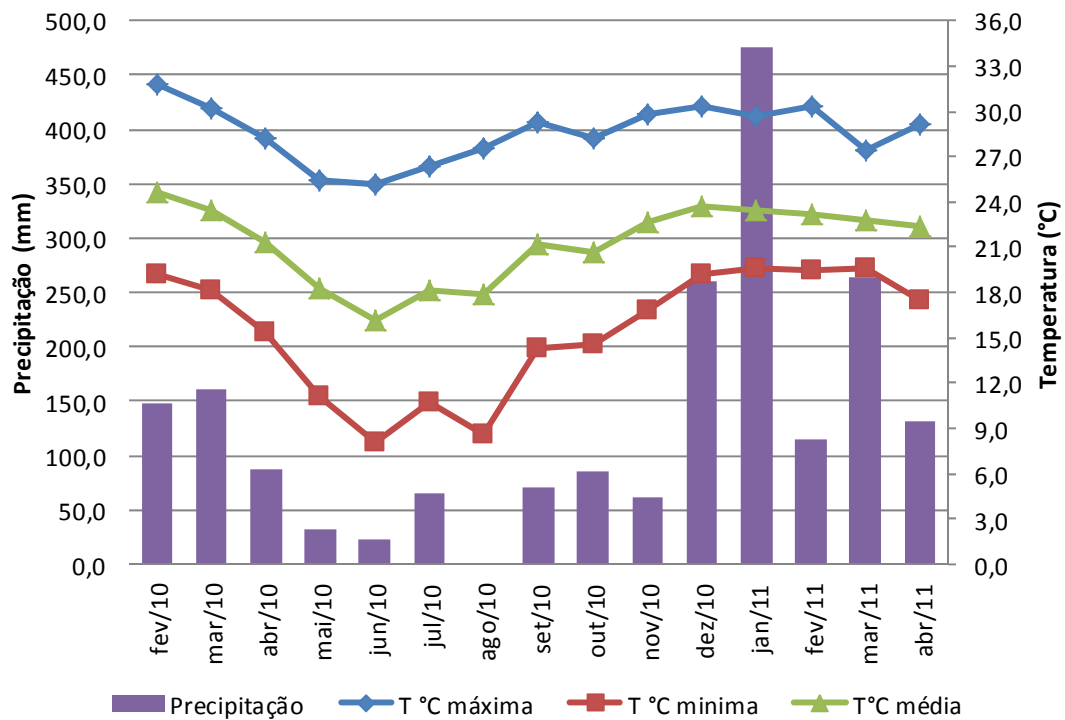


Figura 2 - Precipitação (mm mês<sup>-1</sup>), temperaturas máxima, média e mínima (°C) registradas durante o período de condução do experimento no Centro de Tecnologia Canavieira, Piracicaba/SP

## 4.2 Experimento conduzido até os 45 DAP

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância pelo teste F (procedimento GLM) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, utilizando o software estatístico SAS, a 5% de probabilidade.

### 4.2.1 Brotação

Em relação a brotação das gemas, na Figura 3, verifica-se que a variedade CTC9, considerada a mais precoce dentre as avaliadas, apresentou a maior porcentagem de gemas brotadas desde a primeira avaliação aos 7 DAP, embora nessa data não houvesse diferenças estatísticas entre as variedades.

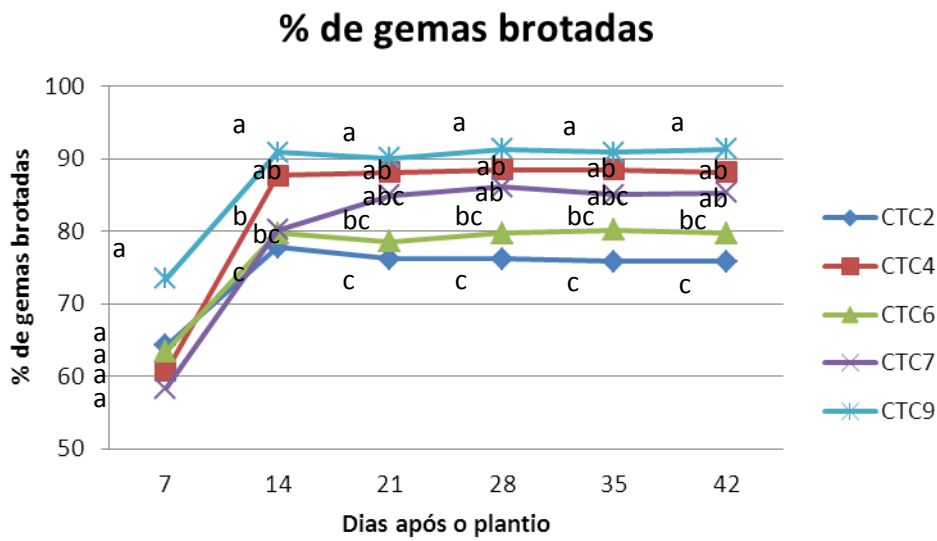


Figura 3 - Porcentagem média de gemas brotadas até os 42 DAP em relação às variedades

Nota-se na Figura 3, que aos 42 DAP, CTC9 apresentou 91,27% de gemas brotadas, diferenciando estatisticamente da CTC2 e CTC6, com 10,61 e 11,17 gemas brotadas, ou seja, 75,79 e 79,76% de brotação, respectivamente, sendo estas as variedades que apresentaram os menores números de gemas brotadas, quando comparadas com as demais.

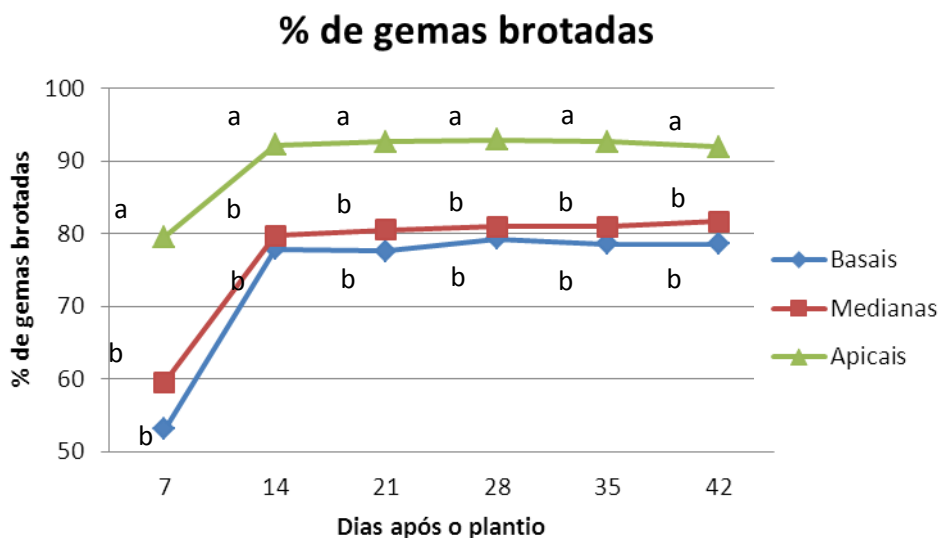


Figura 4 - Porcentagem média de gemas brotadas até os 42 DAP quanto a origem das gemas no colmo

Em relação a origem dos mini-toletes, na Figura 4, as gemas apicais apresentaram maior brotação quando comparadas as gemas do basais e medianas, as quais não apresentaram diferenças estatísticas entre si, durante todo o período de avaliação.

Segovia (1974), utilizando toletes de uma gema, verificou que as gemas voltadas para cima e para os lados nos toletes de maior tamanho, apresentaram melhores resultados sobre a germinação. Segundo Clements (1940), as gemas voltadas para cima emergem duas vezes mais rápido que as voltadas para baixo.

Além disso, Dillewijn (1952) verificou que ao utilizar toletes com mais de uma gema, a brotação inicial é afetada pela dominância apical. Simões Neto (1986) constatou maior porcentagem de emergência em toletes de uma gema quando comparados a toletes com seis gemas de cana-de-açúcar, além de maior número de colmos sobreviventes por parcela, no estágio inicial de crescimento, em experimento em Taiwan.

De acordo com Aude (1993), existe diferença varietal na velocidade de brotação das gemas, sendo a brotação mais rápida em variedades precoces, sendo a tendência de perfilhamento e número de colmos na touceira características distintas entre as variedades (CAMARGO, 1976). Suguitani (2001) também verificou em seus experimentos que o número de perfilhos depende das características genéticas de cada variedade.

Para Casagrande e Vasconcelos (2008), o controle das reações bioquímicas que regulam o processo da brotação é realizado pelos genes, sendo que as condições ambientais regulam a expressão gênica das variedades.

Segundo Silva (2004), a boa capacidade de brotação é uma característica desejável das variedades, principalmente quando o período de plantio envolve épocas com condições ambientais desfavoráveis.

Para Câmara (1993), além das características genéticas, a brotação varia de acordo com a idade da muda, diferença de idade da gema, grau de umidade do tolete, concentração de açúcares (glicose, frutose e sacarose) e nutrientes minerais. Em relação aos fatores ambientais, a temperatura e umidade são os mais críticos, bem como a presença de lesões, doenças, pragas e plantas invasoras (SEGATO et al., 2006).

Ripoli et al.(2006) também verificaram que algumas variedades que iniciam o perfilhamento mais rapidamente possuem perfilhos mais tardios em alongação,

enquanto que algumas formam colmos mais facilmente, mesmo tendo um menor número de perfilhos. De acordo com Cebim (2007), são necessários cerca de 30 dias para que os toletes emitam as brotações nas regiões subtropicais, três semanas no Havaí e 5 semanas na China.

Silva (2004), conduzindo experimento com as variedades RB855156 e IAC91-2218, verificou que o período de 40 DAP foi insuficiente para brotação total das gemas, pois ao final do experimento as duas variedades apresentavam gemas vivas, mas não brotadas.

Para Casagrande e Vasconcelos (2008), a posição da gema no sentido vertical do colmo demonstra que existe um gradiente de brotação devido as diferenças de idade entre as gemas, sendo as do ápice mais novas em relação as basais.

Segundo Camargo (1976), em experimento com mini-toletes de cana-de-açúcar, a melhor germinação ocorreu na porção apical do colmo, decrescendo até a base do colmo, o que coincide com os resultados obtidos. Além disso, o teor de água, glicose e nitrogênio também são mais elevados nas gemas apicais, enquanto que o teor de sacarose e sais minerais aumenta em direção a base do colmo. Glasziou (1960) também verificou que os entrenós mais jovens, contêm grande quantidade de açúcares redutores (glicose e frutose) quando comparados aos entrenós mais maduros.

De acordo com Vieira (1988), quando os teores de açúcares redutores (glucose e frutose) decrescem, os componentes dos açúcares dos quais eles derivam (sacarose e açúcares totais) aumentam. Segundo Prado (1978) a cana-de-açúcar tem alta concentração de sacarose no espaço intercelular que deve estar disponível para a hidrólise pelas invertases ligadas às paredes celulares, dessa forma, segundo o autor, isso significa que um aumento da sacarose intercelular produzirá um aumento nos níveis de glicose e frutose.

Para Camargo (1976) e Aude (1993), essa melhor germinação das gemas apicais está correlacionada positivamente com o conteúdo de água, nitrogênio e glicose e negativamente com o teor de sais minerais, visto que as gemas da base precisam transformar a sacarose em glicose e demoram mais para iniciar a brotação. Simões Neto (1986) também destacou a importância da glicose no desenvolvimento das gemas de cana-de-açúcar e atribuía a ela a rápida brotação das gemas mais jovens, próximas do ápice dos colmos.



Além disso, Thind (1991) sugere que esses tecidos mais jovens apresentam um aparato enzimático mais intenso devido a antecipação do pico de acúmulo de aminoácidos e maior consumo devido a respiração de manutenção.

Melo et al. (1995) em seus estudos, concluíram que a mobilização de reservas na região próxima da gema poderia criar um gradiente decrescente de concentração, facilitando o transporte passivo das substâncias das regiões distais da gema. Neste local, as substâncias poderiam ser usadas para manutenção das atividades ligadas ao metabolismo, além de fornecer nutrientes para a fase de brotação.

De acordo com Dillewijn (1952), o metabolismo da cana-de-açúcar pode ser expresso através do alongamento dos colmos, os quais são influenciados pela distribuição de fotossintetizados entre centros de produção (folhas) e centros de acúmulo (entrenós do colmo).

Simões Neto (1986) concluiu que as gemas jovens apresentaram maior velocidade de emergência, tanto no plantio de setembro-outubro (cana de ano), como no plantio de janeiro-março (cana de ano e meio).

De acordo com Segato et al. (2006) as auxinas são produzidas no ápice e distribuídos por gravidade para o restante da planta, assim gemas próximas ao ápice brotam mais rapidamente, pois possuem maior quantidade de tais hormônios que se relacionam com o enraizamento.

De acordo com Cebim (2007), a dominância apical induz primeiramente o desenvolvimento das gemas localizadas na região superior do colmo e mais tardiamente as localizadas na base do colmo.

#### 4.2.2 Altura

Tabela 5 - Altura média das plantas expressa em cm, até os 42 DAP, em relação às variedades

<b>Variedades</b>	<b>21 DAP</b>	<b>28 DAP</b>	<b>35 DAP</b>	<b>42 DAP</b>
CTC2	31,92 a	40,01 a	44,97 a	48,89 a
CTC4	21,85 c	28,79 c	32,80 d	36,27 c
CTC6	26,49 b	31,97 b	35,18 d	37,19 bc
CTC7	28,41 b	34,33 b	38,19 c	39,97 b
CTC9	29,34 ab	37,45 a	42,22 b	46,37 a
R <sup>2</sup>	0,80	0,80	0,82	0,79
CV (%)	11,54	9,17	7,59	8,49

Médias seguidas de pelo menos uma letra comum, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Na Tabela 5, verifica-se que, aos 21 e 28 DAP, CTC2 e CTC9 apresentaram maior altura de plantas, mostrando diferença significativa quando comparadas a CTC4, a qual mostrou a menor altura na data avaliada. Aos 35 DAP, CTC2 e CTC9 apresentaram as maiores médias de altura, diferindo estatisticamente da CTC7, com 38,19 cm e das variedades CTC4 e CTC6, com 32,80 e 35,18 cm respectivamente. Não houve diferenças significativas entre CTC4 e CTC6, as quais apresentaram menor altura de plantas.

Aos 42 DAP, CTC2 e CTC9 apresentaram as maiores alturas, com 48,89 e 46,37 cm, respectivamente, diferindo estatisticamente das variedades CTC4, CTC6 e CTC7. Não houve diferenças significativas entre CTC4 e CTC6, as quais mostraram menor altura de plantas no período avaliado.

Durante o período avaliado, na Tabela 6, houve diferenças estatísticas das gemas apicais, quando comparadas as gemas basais e medianas, as quais apresentaram as maiores alturas de plantas, sendo que até os 35 DAP não houve diferenças estatísticas entre alturas de plantas provenientes de gemas medianas ou apicais. Aos 42 DAP, as plantas originárias das gemas basais e apicais não apresentaram diferenças significativas, de modo que as gemas medianas apresentaram as menores alturas na data avaliada.

Tabela 6 - Altura média das plantas, expressa em cm até os 42 DAP, em relação a origem das gemas no colmo

Gemas	21 DAP	28 DAP	35 DAP	42 DAP
Basais	24,90 b	32,53 b	37,97 b	42,14 a
Medianas	24,70 b	32,01 b	36,21 b	38,92 b
Apicais	33,20 a	39,01 a	41,84 a	44,14 a
R <sup>2</sup>	0,78	0,80	0,82	0,79
CV (%)	11,54	9,17	7,60	8,49

Médias seguidas de pelo menos uma letra comum, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Camargo (1976) também observou que o crescimento do colmo é alterado de acordo com a variedade, além de sofrer diferenças de acordo com a idade das mudas, temperatura, luminosidade e superfície foliar.

#### 4.2.3 Perfilhamento

Na Figura 5, encontram-se os números médios de perfilhos para as variedades testadas, dos 21 aos 42 DAP.

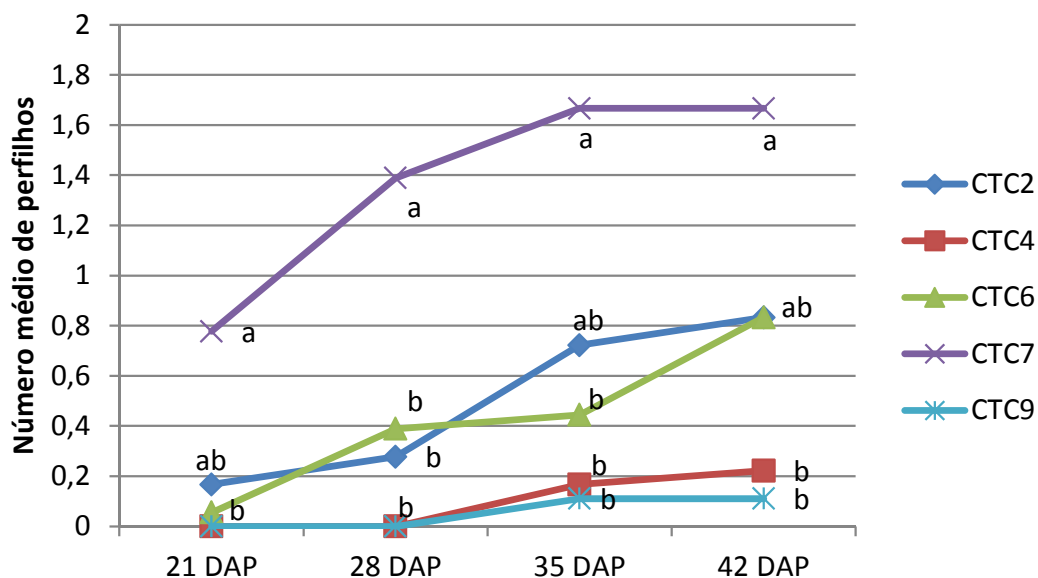


Figura 5 - Evolução no número médio de perfilhos durante o período de 21 até 42 DAP para as variedades testadas

Verifica-se na Figura 5 que, aos 21 e 28 DAP, a variedade CTC7 apresentou a maior quantidade de perfilhos, enquanto que CTC4 e CTC9 não apresentavam nenhum perfilho por colmo, o que pode justificar o elevado coeficiente de variação. A partir dos 35 DAP, CTC2 e CTC7 apresentaram os maiores números de perfilhos em

relação as demais, não apresentando diferenças significativas entre si, com uma média de 0,72 e 1,67 perfilhos por planta. Para a avaliação realizada aos 42 DAP, CTC2, CTC6 e CTC7 não apresentaram diferenças significativas entre si. No entanto, apresentaram diferenças quando comparadas com as variedades que perfilharam menos nessa mesma data de avaliação, ou seja, as variedades CTC4 e CTC9.

Durante o período avaliado, não ocorreu diferença significativa no número total de perfilhos em relação a origem das gemas no colmo.

Na Figura 6 encontram-se os resultados para a quantidade total de perfilhos, para as variedades testadas para as gemas apicais, medianas e basais, observados em todas as parcelas, aos 42 DAP.

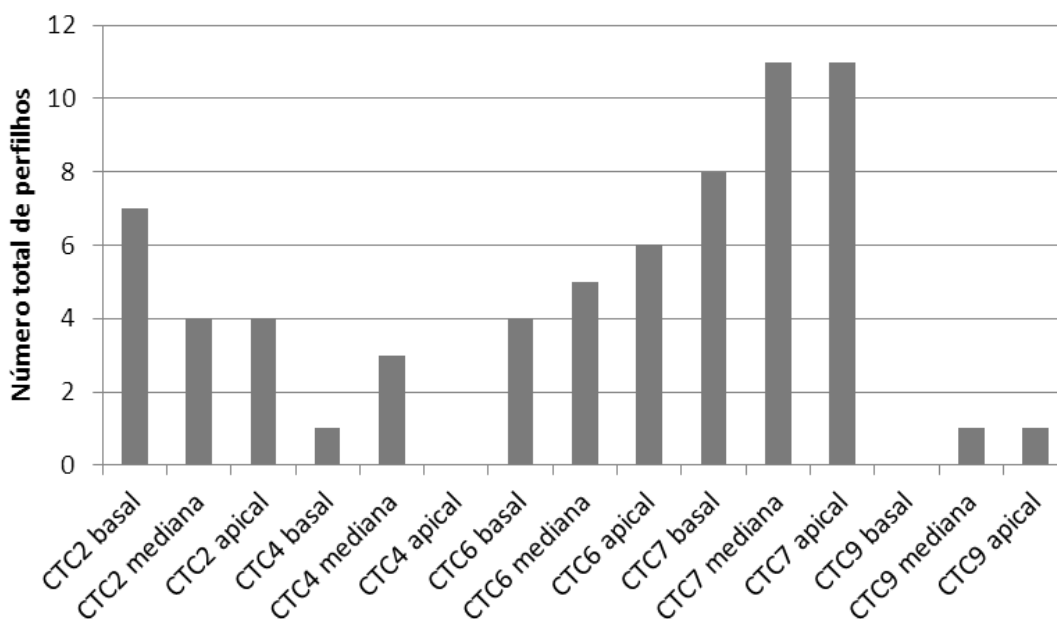


Figura 6 – Número total e médio de perfilhos para as variedades provenientes de gemas apicais, medianas e basais

Nota-se, na Figura 6, que as plantas provenientes das gemas medianas e basais da CTC7 apresentaram a maior quantidade de perfilhos, seguida da CTC7 e CTC2 oriundas de gemas basais e CTC6 medianas.

Segundo Machado et al. (1982), o padrão de perfilhamento parece ser característica das diversas variedades de cana-de-açúcar, sendo que o autor obteve

em seus experimentos, superprodução de colmos aos 125 dias após o plantio, para as variedades NA56-79 e CB41-14.

Gava (2001) constatou que até os 60 DAP o crescimento foi lento e os perfilhos acumularam cerca de 6% da matéria seca total da parte aérea.

#### 4.2.4 Análises foliares

Tabela 7 – Área foliar expressa em cm<sup>2</sup>, número de folhas, massa fresca e seca das folhas (g), para a somatória de 6 plantas aos 42 DAP, em relação às variedades avaliadas

Variedades	Área foliar	Número de folhas	Massa fresca das folhas	Massa seca das folhas
CTC2	427,18 ab	26,50 a	11,10 ab	2,43 ab
CTC4	310,63 b	25,83 a	8,00 c	1,55 c
CTC6	427,60 ab	24,67 a	12,31 a	2,26 ab
CTC7	486,69 a	26,00 a	12,32 a	2,48 a
CTC9	338,67 b	24,17 a	9,34 bc	1,81 bc
R <sup>2</sup>	0,73	0,58	0,80	0,79
CV (%)	18,81	10,01	14,17	16,56

Médias seguidas de pelo menos uma letra comum, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Tabela 8 – Área foliar expressa em cm<sup>2</sup>, número de folhas, massa fresca e seca das folhas (g), para a somatória de 6 plantas aos 42 DAP, em relação a origem das gemas no colmo

Gemas	Área foliar	Número de folhas	Massa fresca das folhas	Massa seca das folhas
Basais	10,58 a	27,30 a	11,27 a	2,26 a
Medianas	9,30 a	24,60 a	9,79 a	1,85 a
Apicais	11,18 a	24,60 a	10,78 a	2,21 a
R <sup>2</sup>	0,73	0,58	0,80	0,79
CV (%)	18,81	10,01	14,17	16,56

Médias seguidas de pelo menos uma letra comum, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Verifica-se, na Tabela 7, que em relação a área foliar, expressa em cm<sup>2</sup>, houve diferenças significativas a nível de variedade, de modo que a variedade CTC7 apresentou o maior valor, diferindo estatisticamente das variedades CTC2, CTC4 e CTC9. Quanto a origem das gemas no colmo, não houve diferenças estatísticas, porém nota-se que as gemas apicais apresentaram maiores valores numéricos quando comparadas as demais. Esses valores não se correlacionaram com a altura

de plantas, uma vez que as variedades CTC2 e CTC9 apresentaram maior altura de plantas aos 42DAP e tiveram a menor área foliar.

Em relação ao número de folhas, na Tabela 7, não foi encontrada diferença significativa em variedades e para a origem das gemas no colmo, no entanto verifica-se que as variedades CTC2 e CTC7 possuíam maior número de folhas na data avaliada e também apresentaram a maior área foliar. Desse modo, o maior número de folhas contribuiu para o aumento da área foliar nas variedades avaliadas.

Na Tabela 8, nota-se que, para a matéria fresca e seca das folhas, foi encontrada diferença apenas em relação as variedades testadas. Desse modo, a variedade CTC7 apresentou a maior matéria fresca, porém não diferiu estatisticamente da CTC6 e CTC2. CTC4 apresentou a menor massa de matéria fresca das folhas, diferindo estatisticamente das demais apenas na matéria fresca das folhas. Esses baixos valores de matéria fresca e seca das folhas da variedade CTC4 são resultados da baixa área foliar e menor número de folhas aos 42 DAP, uma vez que essa menor disponibilidade de área fotossintética resultou em menor altura de plantas quando comparada às demais.

Segundo Câmara (1993), o aumento da área foliar das touceiras são resultado do crescimento de perfilhos jovens, o que contribui para aumento da realização da fotossíntese, devido a maior área para captação da energia solar. Machado et al. (1982) verificaram que o índice de área foliar aumentou continuamente até 3,7 por volta de 300 DAP, permanecendo praticamente constante até o final do ciclo de crescimento. Além disso, verificou que o IAF aumentou em função do aumento da área de cada folha e do número de folhas por colmo.

Ao longo do colmo, existem folhas com limbos foliares menores na base e estas aumentam até chegarem a um valor máximo na ponta, além disso, os limbos foliares estão em constante renovação, sendo as folhas mais velhas substituídas por mais novas (CAMARGO, 1976). De acordo com Machado (1981), as folhas mais velhas e senescentes não realizam mais fotossíntese e não podem ser incluídas entre os órgãos da planta que gastam energia através da respiração. Dessa forma, nota-se que o número de folhas por colmo se torna constante, de 8 a 10 folhas por colmo, depois que ocorre o fechamento do dossel.

Clements e Ghotb (1968) verificaram que o número de folhas imaturas entre o pico de crescimento e a presença de folhas com o dewlap mais recente exposto varia durante as fases de crescimento da cultura.

Segundo experimentos realizados por Suguitani (2001), sob condições climáticas desfavoráveis, o número de folhas produzidas foi menor do que em condições favoráveis, com chuvas e temperaturas adequadas. Em relação ao surgimento de novas folhas, Cock (2001) verificou que, na Colômbia, surgia uma folha nova por semana em cada perfilho; enquanto que Irvine (1983), observou que sob condições favoráveis, novas folhas são produzidas no intervalo de uma a duas semanas, Glasziou et al. (1965), observaram o surgimento de uma nova folha a cada 10 dias, enquanto que Dillewijn (1952) verificou que a duração média de uma folha, no Havaí, era de 60 dias. De acordo com Machado et al. (1982), a duração de uma folha fotossinteticamente ativa variava de um a cinco meses, em função da idade da planta e das condições climáticas.

Yoon (1971), relatou que as folhas e colmos contribuem com 90% do total de matéria seca produzida na colheita, sendo que dos 60 aos 170 DAP, as folhas de cana-de-açúcar testadas apresentaram um rápido aumento de área.

De acordo com resultados obtidos por Melo et al. (1995) a redução na matéria seca total para toletes com uma e duas gemas foi mais acentuada nos toletes da posição apical, devido a presença de um metabolismo mais intenso nessa região.

Em experimentos conduzidos com a matéria seca acumulada nas folhas das variedades NA56-79 e CB41-14, Machado et al. (1982) relataram que até os 100 dias após o plantio, a matéria seca das folhas representava mais de 70% de toda a matéria seca da parte aérea da planta, decrescendo até alcançar 9% aos 400 dias após o plantio. Assim, verifica-se a importância do aparato fotossintético nos estádios iniciais da cultura, para maior captação da energia solar.

San José e Medina (1970) verificaram que a matéria seca das folhas desenvolve mais rapidamente que a matéria seca da parte aérea como um todo, atingindo 95% do seu valor final (colheita) logo aos 250 a 260 dias após plantio. Além disso, segundo Suguitani (2001), outros modelos brasileiros, como o SIMCANA (Simulador Dinâmico do Crescimento Diário de uma Cultura de Cana-de-açúcar) em 1986, também alcançaram resultados similares.

#### 4.2.5 Contagem de raízes

Tabela 9 – Comprimento de raízes expresso em centímetros, número de raízes, para a somatória de 6 plantas aos 42 DAP, em relação às variedades

Variedades	Comprimento das raízes	Número de raízes
CTC2	1,04 a	1,35 a
CTC4	1,06 a	1,40 a
CTC6	1,03 a	1,32 a
CTC7	0,83 a	1,14 a
CTC9	0,80 a	1,07 a
R <sup>2</sup>	0,66	0,68
CV (%)	36,66	41,17

Médias seguidas de pelo menos uma letra comum, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro. Para análise estatística utilizou-se transformação  $(\sqrt{n+0,5})^{-1}$  e  $(n+0,5)^{-1}$  para comprimento e número de raízes, respectivamente.

Na Tabela 9, em relação ao comprimento das raízes, não foram encontradas diferenças significativas para variedades e origem das gemas no colmo. Em relação ao número de raízes, na Tabela 10, verifica-se que as gemas medianas e apicais apresentaram o maior número de raízes adventícias, diferindo estatisticamente das gemas apicais, aos 42 DAP.

Tabela 10 – Comprimento de raízes expresso em centímetros, número de raízes, para a somatória de 6 plantas aos 42 DAP, em relação a origem das gemas no colmo

Gemas	Comprimento das raízes	Número de raízes
Basais	0,85 a	1,11 b
Medianas	1,05 a	1,45 a
Apicais	0,95 a	1,21ab
R <sup>2</sup>	0,66	0,68
CV (%)	36,66	41,17

Médias seguidas de pelo menos uma letra comum, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro. Para análise estatística utilizou-se transformação  $(\sqrt{n+0,5})^{-1}$  e  $(n+0,5)^{-1}$  para comprimento e número de raízes, respectivamente.

Segundo Barnes (1964), a partir dos 30 dias, os perfilhos primários brotados iniciam a emissão de suas próprias raízes, a partir das zonas radiculares e à medida



que vão se renovando, perdem sua função de fixação e a planta passa a depender de suas próprias raízes.

### **4.3 Experimento conduzido dos 45 aos 90 DAP**

#### **4.3.1 Altura**

Na Tabela 11, nota-se que as variedades CTC2 e CTC6 apresentaram as maiores alturas durante o período avaliado, iniciando com 49,53 e 48,13 centímetros, aos 49 DAP, até alcançarem 84,20 e 82,83 centímetros aos 90 DAP. CTC4, que possuiu a menor média de altura quando comparada às demais e não apresentou diferenças significativas quando comparada às variedades CTC7 e CTC9, até os 76 DAP.

Na última avaliação, realizada aos 90 DAP, para o modelo usado, houve interação significativa ao nível de 95%, sendo que as variedades CTC2, CTC6 e CTC7 apresentaram as maiores alturas de plantas na data avaliada, com 84,20; 82,83 e 76,67 cm respectivamente, não apresentando diferenças estatísticas entre si. Além disso, quando comparadas à variedade CTC4, com menor altura, apresentaram diferenças significativas ao nível de 95%. CTC6, CTC7 e CTC9, não apresentaram diferenças significativas entre si.

Tabela 11 - Altura média das plantas, expressa em cm, dos 48 aos 90 DAP, em relação às variedades

<b>Variedades</b>	<b>48 DAP</b>	<b>55 DAP</b>	<b>62 DAP</b>	<b>69 DAP</b>
CTC2	49,53 a	52,30 a	55,57 a	53,33 a
CTC4	40,73 b	41,73 c	44,67 b	44,97 b
CTC6	48,13 a	48,87 ab	51,73 ab	52,93 ab
CTC7	44,13 ab	44,20 bc	44,90 b	45,23 b
CTC9	44,23 ab	44,83 bc	46,17 b	45,80 ab
R <sup>2</sup>	0,39	0,47	0,47	0,39
CV (%)	14,63	13,97	14,40	16,17

<b>Variedades</b>	<b>76 DAP</b>	<b>83 DAP</b>	<b>90 DAP</b>
CTC2	54,83 a	67,80 a	84,20 a
CTC4	44,50 c	54,60 b	65,37 c
CTC6	53,60 ab	66,83 a	82,83 ab
CTC7	47,17 bc	65,00 a	76,67 ab
CTC9	46,80 bc	62,80 a	75,50 b
R <sup>2</sup>	0,49	0,57	0,60
CV (%)	13,88	11,88	10,68

Médias seguidas de pelo menos uma letra comum, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Tabela 12 - Altura média das plantas, expressa em cm, dos 48 aos 90 DAP, em relação a origem das gemas no colmo

<b>Gemas</b>	<b>48 DAP</b>	<b>55 DAP</b>	<b>62 DAP</b>	<b>69 DAP</b>
Basais	45,54 a	47,38 a	49,72 a	48,76 a
Medianas	44,86 a	45,88 a	48,28 a	48,70 a
Apicais	45,66 a	45,90 a	47,82 a	47,90 a
R <sup>2</sup>	0,38	0,46	0,46	0,39
CV (%)	14,63	13,97	14,40	16,16

<b>Gemas</b>	<b>76 DAP</b>	<b>83 DAP</b>	<b>90 DAP</b>
Basais	51,04 a	66,34 a	80,98 a
Medianas	48,92 a	63,86 ab	75,42 ab
Apicais	48,18 a	60,02 b	74,34 b
R <sup>2</sup>	0,49	0,57	0,59
CV (%)	13,88	11,88	10,68

Médias seguidas de pelo menos uma letra comum, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Na Tabela 12, notamos que não ocorreu diferenças estatísticas entre a altura proveniente das regiões apicais, medianas e basais até os 76 DAP. No entanto, a partir dos 83 DAP, houve diferenças quanto a altura de plantas provenientes das gemas da região basal e apical, as quais aos 90 DAP, possuíam 80,98 e 74,34 centímetros, respectivamente.

#### 4.3.2 Diâmetro

Tabela 13 - Diâmetro médio das plantas expresso em mm, dos 45 aos 90 DAP, em relação às variedades

<b>Variedades</b>	<b>48 DAP</b>	<b>55 DAP</b>	<b>62 DAP</b>	<b>69 DAP</b>
CTC2	4,74 a	5,189 ab	5,87 ab	6,00 ab
CTC4	4,45 a	4,97 b	5,17 b	5,38 b
CTC6	4,89 a	5,68 a	6,07 a	6,45 a
CTC7	4,60 a	5,21 ab	5,74 ab	6,00 ab
CTC9	4,72 a	5,10 ab	5,63 ab	5,92 ab
R <sup>2</sup>	0,40	0,54	0,48	0,48
CV (%)	15,90	12,33	12,93	12,25

<b>Variedades</b>	<b>76 DAP</b>	<b>83 DAP</b>	<b>90 DAP</b>
CTC2	6,36 ab	7,08 ab	6,14 ab
CTC4	5,61 b	6,34 b	5,24 bc
CTC6	6,39 ab	7,27 a	6,41 a
CTC7	6,54 a	6,90 ab	5,15 c
CTC9	6,41 ab	6,67 ab	5,57 abc
R <sup>2</sup>	0,56	0,39	0,46
CV (%)	12,89	12,93	15,81

Médias seguidas de pelo menos uma letra comum, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Na Tabela 13, aos 48 DAP, quanto ao diâmetro, não houve diferenças significativas entre as variedades na data avaliada, sendo o diâmetro médio dos perfilhos principais da ordem de 4,68 mm.

Dos 55 até os 69 DAP, a CTC6 apresentou o maior diâmetro quando comparada com as variedades CTC2, CTC7 e CTC9, as quais não mostraram diferenças estatísticas entre si. No entanto, aos 76 DAP, CTC7 apresentou o maior diâmetro do terço médio (6,55 mm), ocorrendo diferença estatística comparando-se essa variedade com a CTC4, a qual possuía menor diâmetro do colmo principal.

Para a avaliação efetuada aos 83 DAP, CTC6 voltou a apresentar o maior diâmetro (7,27 mm) quando comparada as demais, sendo que na última avaliação, realizada aos 90 DAP, CTC2, CTC6 e CTC9 apresentaram o maior diâmetro dos colmos principais (6,15; 6,41 e 5,57 mm), não mostrando diferenças estatísticas entre si. Houve significância comparando-se a CTC6 com CTC4, CTC7 e CTC9, sendo que CTC7 apresentou menor diâmetro na data avaliada.

De acordo com James (2004), colmos de cana-de-açúcar com menor diâmetro possuem menos parênquima na casca quando comparados com canas mais grossas.

Camargo (1968) observou que quando a cana é cultivada em pleno sol os colmos se apresentam mais grossos, mais curtos, as folhas mais largas e verdes e o perfilhamento mais intenso.

Segundo Dillewijn (1952) o diâmetro varia de acordo com as variedades, no entanto, quanto maior o diâmetro, menor o perfilhamento das touceiras e menor a produtividade.

Tabela 14 - Diâmetro médio das plantas expresso em mm, dos 45 aos 90 DAP, em relação a origem das gemas

<b>Gemas</b>	<b>48 DAP</b>	<b>55 DAP</b>	<b>62 DAP</b>	<b>69 DAP</b>
Basais	5,19 a	5,63 a	6,14 a	6,37 a
Medianas	4,69 a	5,37 a	5,71 ab	5,93 ab
Apicais	4,16 b	4,69 b	5,24 b	5,56 b
R <sup>2</sup>	0,40	0,540	0,48	0,48
CV (%)	15,89	12,33	12,93	12,25

<b>Gemas</b>	<b>76 DAP</b>	<b>83 DAP</b>	<b>90 DAP</b>
Basais	6,47 a	7,27 a	6,10 a
Medianas	6,35 a	6,78 ab	5,61 ab
Apicais	5,99 a	6,50 b	5,40 b
R <sup>2</sup>	0,56	0,39	0,46
CV (%)	12,89	12,93	15,81

Médias seguidas de pelo menos uma letra comum, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Em relação a origem das gemas no colmo, na Tabela 14, não houve diferenças comparando-se as gemas basais com as medianas, no entanto, as gemas apicais apresentaram menor diâmetro em relação as demais (5,40 mm),

diferindo estatisticamente das gemas basais. Não houve diferenças estatísticas entre as gemas medianas e apicais, para a significância de 95%.

#### 4.3.3 Perfilhamento

Abaixo, seguem resultados para o perfilhamento, durante o período de 48 até 90 DAP.

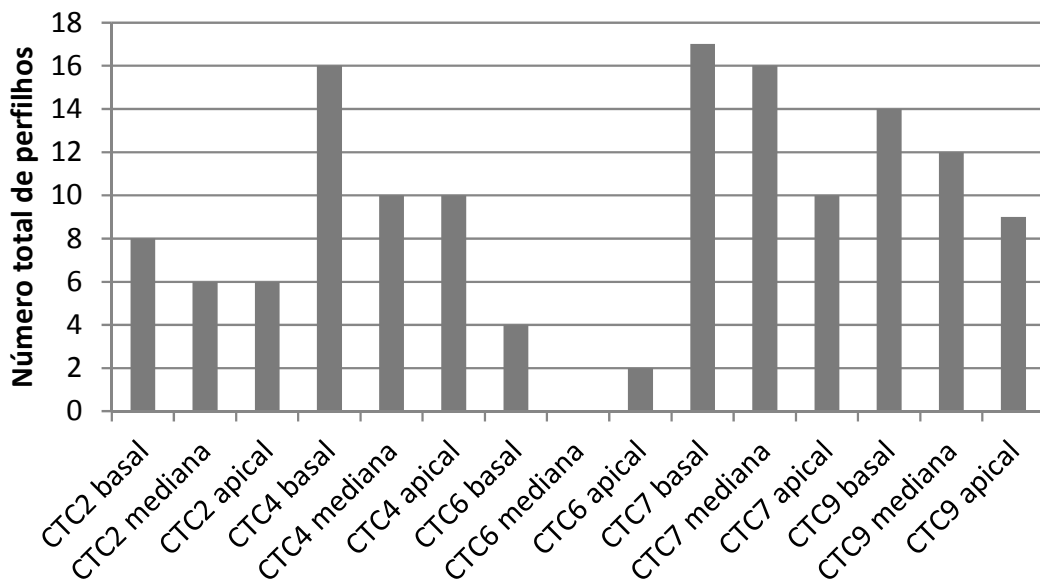


Figura 7 – Número total de perfilhos das plantas, aos 90 DAP, quanto a variedades e origem das gemas no colmo

Na Figura 7, nota-se que o número total de perfilhos continuou, tal como aos 42 DAP, maior para plantas provenientes das gemas basais da CTC7, no entanto, a quantidade de perfilhos foi maior para gemas basais em relação às apicais, para a mesma variedade. A quantidade de perfilhos para a variedade precoce CTC9 aumentou em relação a contagem realizada aos 42 DAP, sendo os menores valores encontrados para a variedade CTC6.

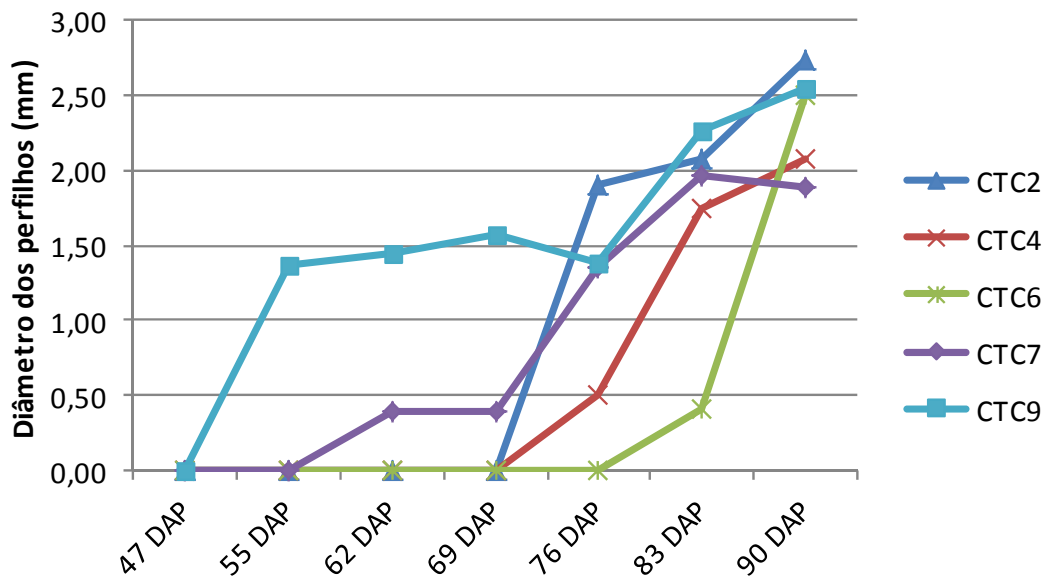


Figura 8 – Diâmetro médio dos perfis, expresso em mm, dos 45 aos 90 DAP, quanto às variedades testadas

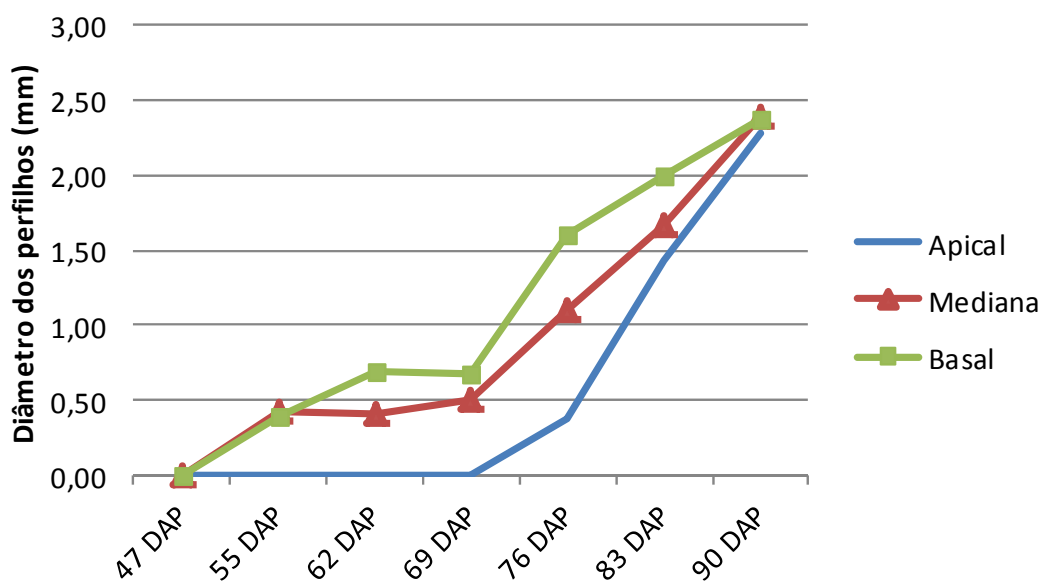


Figura 9 – Diâmetro médio dos perfis, expresso em mm, dos 45 aos 90 DAP, para origem das gemas no colmo

Verifica-se, através das Figuras 8 e 9, pouca variação no diâmetro, expresso em milímetros, para as variedades e origem das gemas no colmo, uma vez que na medição realizada aos 90 DAP, os valores obtidos foram muito próximos, tanto para variedades quanto para as gemas apicais, medianas e basais.

De acordo com resultados experimentais obtidos por Suguitani (2001, 2006), o perfilhamento nos primeiros meses após o plantio é lento, sendo mais intenso com o aparecimento de temperatura e precipitação mais favoráveis.

#### 4.4 Enzimas, carboidratos e proteínas

##### 4.4.1 Invertases ácida e neutra

Em relação as avaliações bioquímicas, seguem abaixo os resultados para os parâmetros estudados, aos 45 e 90 dias após o plantio: atividade das enzimas invertase ácida e neutra (expressas em  $\mu\text{Mol glicose h}^{-1} \text{ mg proteína total solúvel}^{-1}$ ) aos 45 e 90 dias.

Tabela 15 - Médias da atividade da invertase ácida (IA),  $\mu\text{Mol glicose h}^{-1} \text{ mg proteína total solúvel}^{-1}$ , invertase neutra (IN),  $\mu\text{Mol glicose h}^{-1} \text{ mg proteína total solúvel}^{-1}$ , aos 45 e 90 DAP, em folhas de cana-de-açúcar em relação às variedades estudadas

Variedades	IA		IN	
	45 DAP	90 DAP	45 DAP	90 DAP
CTC2	2,51 b	1,87 b	2,65 c	1,99 b
CTC4	3,83 a	3,67 a	5,08 a	4,48 a
CTC6	2,93 ab	1,05 b	3,60 b	1,35 b
CTC7	2,10 b	1,51 b	2,88 bc	1,64 b
CTC9	2,88 b	2,01 ab	3,30 bc	1,91 b
R <sup>2</sup>	0,75	0,44	0,85	0,56
CV (%)	34,38	90,76	25,68	76,26

Médias seguidas de pelo menos uma letra comum, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Houve diferença significativa para a atividade da invertase ácida as 45 e 90 dias após o plantio, ao nível de variedades, gemas e efeito da interação variedades x gemas.

Aos 45 DAP, na Tabela 15, CTC4 apresentou maior atividade da enzima, diferindo estatisticamente das demais variedades. As demais testadas não apresentaram diferenças significativas entre si. Aos 90 DAP, a situação se manteve semelhante, de modo que a CTC4 continuou a apresentar os maiores valores da atividade da enzima. No entanto, seu valor médio foi 4,14% menor em relação a medição efetuada aos 45 DAP. Resultados obtidos por Mendes (2010), evidenciam

que a maior atividade da invertase ácida, nas folhas de cana-de-açúcar da variedade RB867515 ocorreu aos 60 DAP. Almeida (1994) obteve pequena variação entre as variedades cultivadas melhoradas geneticamente, na caracterização bioquímica realizada.

Tabela 16 - Médias da atividade da invertase ácida (IA),  $\mu\text{Mol glicose h}^{-1} \text{ mg proteína total solúvel}^{-1}$ , invertase neutra (IN),  $\mu\text{Mol glicose h}^{-1} \text{ mg proteína total solúvel}^{-1}$ , aos 45 e 90 DAP, em folhas de cana-de-açúcar em relação a origem das gemas

Gemas	IA		IN	
	45 DAP	90 DAP	45 DAP	90 DAP
Basais	2,21 b	1,87 a	2,62 b	1,98 ab
Medianas	3,99 a	2,44 a	4,89 a	3,04 a
Apicais	2,35 b	1,75 a	2,98 b	1,79 b
R <sup>2</sup>	0,75	0,44	0,85	0,56
CV (%)	34,38	90,76	25,68	76,26

Médias seguidas de pelo menos uma letra comum, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Ao se analisar o efeito das origens das gemas no colmo, Tabela 16, verifica-se que as gemas medianas apresentaram os maiores valores da atividade da enzima invertase ácida aos 45 DAP, diferindo estatisticamente das gemas basais e apicais. Aos 90 DAP, a atividade da enzima também foi maior para as gemas medianas ( $2,44 \mu\text{Mol glicose h}^{-1} \text{ mg proteína total solúvel}^{-1}$ ), no entanto, as gemas provenientes do colmo não apresentaram diferenças estatísticas entre si.

De acordo com Almeida (1994), os entrenós da região mediana do colmo já apresentam suas características morfológicas e bioquímicas manifestadas e maior estabilidade enzimática, enquanto que as gemas basais são mais velhas fisiologicamente e as apicais são mais instáveis, devido aos gastos energéticos durante o processo de brotação e também devido à imaturidade.

Em relação a atividade da enzima invertase neutra, expressa em  $\mu\text{Mol glicose h}^{-1} \text{ mg proteína total solúvel}^{-1}$ , nota-se, na Tabela 15, que a variedade CTC4 também apresentou os maiores valores aos 45 DAP e 90 DAP, diferindo estatisticamente das demais. Seu valor foi 11,73% menor em relação a medição efetuada aos 45 DAP. Enquanto que aos 45 DAP, a variedade CTC2 apresentou menor atividade da enzima, aos 90 DAP, não houve essa distinção, pois as demais variedades não apresentaram diferenças estatísticas entre si. Considerando-se a origem das gemas no colmo, as gemas medianas apresentaram os maiores valores



de atividade da enzima, diferindo estatisticamente das gemas basais e apicais, aos 45 DAP. Na Tabela 16, aos 90 DAP, gemas medianas e basais não apresentaram diferenças, embora o valor numérico da atividade da invertase neutra tenha sido maior nas gemas medianas.

Em relação a atividade da invertase neutra, Mendes (2010), verificou uma tendência de aumento nos teores da atividade da enzima aos 90 DAP, o que pode explicar a função da enzima na mobilização da sacarose foliar para os perfilhos que estão se formando.

De acordo com Vieira (1988) a presença de invertases nas folhas é um fator geneticamente determinado ou um fenômeno resultante da indução por fatores ecológicos e ambientais. Vieira et al. (1996), em trabalho realizado com as variedades SP70-1143 e SP71-799, obtiveram variação de acordo com a idade da planta (fase inicial de desenvolvimento e maturação), tipo de tecido (lâmina foliar, bainhas e entrenós) e variedade, para atividade específica das invertases ácida solúvel, neutra e invertase ligada à parede celular.

Comparando-se as análises realizadas aos 45 DAP, verifica-se na Tabela 15 que a atividade da invertase ácida foi geralmente menor quando comparadas a invertase neutra. Essa situação também se repetiu aos 90 DAP.

Segundo Vieira (1996), em relação às lâminas foliares, a tendência da atividade das enzimas invertase ácida solúvel e invertase neutra, a partir do quarto mês de cultivo é de aumentar até o sexto mês. Em seguida, a invertase ácida decai, até desaparecer com a maturidade do tecido, enquanto que a invertase neutra varia de acordo com as variedades. Os resultados mostram que altos níveis de invertase ligada à parede celular das lâminas foliares podem estar associadas com o crescimento das plantas. Quando a planta alcança estágio fisiológico mais diferenciado, a atividade começa a se elevar novamente. Assim, nota-se que a atividade da invertase ligada à parede celular destes tecidos é consideravelmente menor nas folhas de plantas mais maduras do que nos tecidos de plantas em crescimento.

Segundo Vieira (1988), a invertase ácida encontrada ligada à parede celular das lâminas não mostra nenhuma tendência de relacionar-se com as características varietais. Os resultados indicam que altos níveis de invertase ligada à parede celular nas lâminas foliares, podem estar associados com o crescimento das plantas. Quando a planta alcançou um estágio fisiológico mais diferenciado, a atividade

começou a se elevar novamente. A atividade da invertase ligada à parede celular destes tecidos é consideravelmente menor nas folhas das plantas mais maduras do que nos tecidos de plantas em crescimento.

Para Vieira (1988), a atividade das invertases solúveis foi mais baixa na bainha do que os limbos foliares. Até o quarto mês, as invertases mostraram um padrão quase que constante com uma tendência de decrescer com a idade da planta, para a variedade NA56-79. Para as variedades CB41-76, SP70-1143 e SP71-799 a tendência da atividade das invertases ácida e neutra a partir do quarto mês após o plantio, foi de aumentar até o sexto mês.

Para Vieira (1988), as invertases presentes nas folhas, hidrolisam parte da sacarose em suas hexoses constituintes, e como consequência, a concentração líquida de sacarose a ser migrada da fonte para o dreno tende a ser diminuída. Além disso, diferenças entre as variedades demonstram a importância de se interpretar os resultados da síntese de açúcares e a atividade dessas enzimas dentro do contexto do complexo sistema fonte-dreno que é fundamental na planta da cana-de-açúcar do ponto de vista fisiológico.

De acordo com resultados obtidos por Vieira (1988), na variedade SP70-1143 a atividade da invertase neutra aumentou com o crescimento, mostrando uma tendência de decréscimo após o sexto mês, enquanto que na variedade SP71-799 se estabilizou em altos níveis. A atividade ácida da invertase ácida foliar também mostrou essa mesma tendência.

Vieira (1996) verificou que a atividade da invertase ácida mostrou tendência de aumentar e depois decrescer, enquanto que a invertase neutra se elevou, para o conteúdo de açúcares em limbos foliares das variedades testadas.

Nas lâminas foliares de plantas das variedades CB41-75 e NA56-79 as atividades de invertases mantiveram-se constantes durante o crescimento das folhas. Enquanto que a atividade da invertase ácida mostrou uma tendência a aumentar e decrescer em níveis acentuados, a atividade de invertase neutra se elevou bruscamente com a idade da planta (VIEIRA, 1988). Segundo Lingle e Irvine (1994), entrenós em alongação apresentam maior atividade da atividade da invertase ácida.

Outro ponto importante para Lingle e Irvine (1994) é que a baixa pureza do caldo está relacionada ao aumento da atividade da invertase ácida. Esses resultados foram confirmados parcialmente no experimento, uma vez que as plantas

provenientes da variedade CTC6, a qual apresentava pureza do caldo de 63,5 possuíam, juntamente com a CTC4, os maiores valores de atividade da invertase aos 45 DAP. Esses resultados não se confirmaram aos 90 DAP, Tabela 15, pois a atividade da invertase se manteve alta nas variedades CTC4 e CTC9.

#### **4.4.2 Açúcares redutores e totais**

A quantidade de açúcares redutores (mg açúcar redutor g matéria fresca<sup>-1</sup>) e açúcares solúveis totais (mg açúcar total g matéria fresca<sup>-1</sup>), expressos aos 45 e 90 DAP, encontram-se nas tabelas abaixo.

Em relação a quantidade de açúcares redutores totais, aos 45 DAP, verifica-se, na Tabela 17, que as variedades testadas não apresentaram diferenças significativas entre si; no entanto, a CTC9 apresentou a maior quantidade de mg açúcar redutor g matéria fresca<sup>-1</sup>, o que confirma sua característica ligada a precocidade. Aos 90 DAP, nota-se que a CTC9 apresentou diferenças significativas em relação as demais e a maior quantidade de açúcares redutores, ocorrendo um aumento de 32,79% em relação a avaliação aos 45 DAP. A variedade CTC2, a qual é recomendada para final de safra, apresentou os menores valores de açúcares redutores, ou seja, 55,37% inferior a variedade CTC9. A CTC7 também indicada para colheita no início de safra diferiu estatisticamente das demais. Variedades CTC4, CTC6 e CTC2 não apresentaram diferenças entre si e possuíam as menores quantidades de açúcares redutores, o que confirma seu manejo para mediana e final de safra.

Tabela 17 - Médias do teor de açúcares redutores totais (AR), mg açúcar redutor g matéria fresca<sup>-1</sup> e açúcares solúveis totais (AST), mg açúcar solúvel total g matéria fresca<sup>-1</sup> em folhas de cana-de-açúcar, aos 45 e 90 DAP para as variedades estudadas

Variedades	AR		AST	
	45 DAP	90 DAP	45 DAP	90 DAP
CTC2	6,99 a	4,66 d	5,54 b	2,19 abc
CTC4	6,30 a	7,07 c	5,74 b	1,21 c
CTC6	6,23 a	6,15 c	4,82 c	2,69 ab
CTC7	6,48 a	8,35 b	4,84 c	1,57 bc
CTC9	7,87 a	10,45 a	6,18 a	3,27 a
R <sup>2</sup>	0,33	0,86	0,86	0,54
CV (%)	26,93	15,12	8,22	54,88

Médias seguidas de pelo menos uma letra comum, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Na Tabela 17, nota-se que, aos 45 DAP, a CTC9 apresentou a maior quantidade, diferindo estatisticamente das demais. Aos 90 DAP, CTC9, CTC6 e CTC2 apresentaram as maiores quantidades de açúcares solúveis totais, diferindo estatisticamente da CTC4, a qual apresentou a menor quantidade em relação as demais.

Na Tabela 18, avaliando-se o teor em relação a origem das gemas no colmo, aos 45 DAP, gemas medianas e basais tinham maior quantidade de açúcares solúveis totais e possuíam significância em relação as gemas apicais. Aos 90 DAP, as gemas medianas apresentaram diferenças significativas em relação as gemas basais e apicais. Nota-se que tanto aos 45 e 90 DAP, as gemas medianas, apresentaram a maior quantidade de açúcares solúveis totais.

Considerando-se a origem das gemas no colmo, aos 45 DAP, verifica-se, na Tabela 18, que não houve diferenças estatísticas na quantidade de açúcares redutores para as gemas testadas. Aos 90 DAP, as gemas apicais apresentaram a maior quantidade, apresentando diferenças significativas em relação as gemas basais e medianas.

Tabela 18 - Médias do teor de açúcares redutores totais (AR), mg açúcar redutor g matéria fresca<sup>-1</sup> e açúcares solúveis totais (AST), mg açúcar solúvel total g matéria fresca<sup>-1</sup> em folhas de cana-de-açúcar, aos 45 e 90 DAP em relação a origem das gemas no colmo

Gemmas	AR		AST	
	45 DAP	90 DAP	45 DAP	90 DAP
Basais	6,18 a	6,89 b	4,86 b	1,79 b
Medianas	6,86 a	6,88 b	5,66 a	2,79 a
Apicais	7,28 a	8,24 a	5,75 a	1,98 b
R <sup>2</sup>	0,33	0,86	0,86	0,54
CV (%)	26,93	15,12	8,22	54,88

Médias seguidas de pelo menos uma letra comum, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

De acordo com Vieira (1983), o conteúdo de açúcares redutores foi bastante elevado no período de 40 dias em diante no tecido das folhas (segmento superior), pois a elevada produção de açúcares redutores nas folhas é atribuída à maior atividade fotossintética. Hartt et al. (1963), utilizando <sup>14</sup>C em cana-de-açúcar, demonstraram que a sacarose depois de ser formada nas folhas, passa rapidamente para o sistema condutor (nervuras secundárias) e daí para a nervura central seguindo depois para a bainha em velocidade de 2,5 cm/minuto. Alcançando o colmo, sofre redistribuição interna, uma fração migrando para a parte superior e outra para a inferior. Nas raízes, caule e folhas é convertida em glicose e frutose, que são usadas para o crescimento de paredes celulares e protoplasma.

Resultados obtidos por Mendes (2010) mostram que houve um decréscimo gradual nos teores de açúcares redutores dos 45 aos 90 DAP, uma vez que as folhas são o local de síntese desses açúcares e após a biossíntese, esses açúcares migram para outros drenos.

Com o aumento no número de perfilhos e crescimento das gemas apicais, ocorre redução nos níveis de açúcares redutores nas folhas porque estão sendo utilizados na síntese de sacarose.

De acordo com Castro et al. (2001), a queda dos teores de açúcares redutores revela que estes são utilizados para síntese endógena de sacarose.

De maneira geral, a quantidade de açúcares redutores totais obtida no experimento, aumentou no período avaliado, enquanto que a quantidade de açúcares solúveis totais diminuiu, tanto para as variedades testadas quanto para a origem das gemas no colmo.

Mendes (2010) observou incremento no teor de açúcares totais solúveis por efeito de reguladores vegetais, quando comparados ao controle, aumentando conteúdos dos açúcares aos 30 e 60 DAP.

Segundo Alexander (1973) e Vieira (1988), uma possível explicação para aumentos dos teores de açúcares totais pode estar ligada à presença de outras hidrolases na folha, as amilases, cuja função primária é a de não permitir o acúmulo de amido nos tecidos de limbos e bainhas foliares e evitar as perdas de glucose das vias do metabolismo ativo ou de formação de sacarose. Os aumentos de açúcares totais podem ser o resultado de uma elevada atividade hidrolítica da amilase das folhas de cana-de-açúcar sobre a molécula de amido. Por outro lado, esses resultados podem estar relacionados com a função metabólica da folha, para produzir o fotossintetizado sacarose a partir de seus produtos primários e usar parte desses compostos, para o metabolismo de manutenção e crescimento da própria folha, cujos passos requerem a ação de invertases, e de exportar a outra parte para os demais órgãos em crescimento.

Segundo Melo et al. (1995), as transformações nos teores de açúcares solúveis totais e sacarose acompanham uma sequência cronológica de eventos metabólicos, onde inicialmente as reduções lentas, provavelmente estão associadas ao consumo para constituição de um aparato energético/protéico necessário para o desencadeamento do processo de brotação. Em seguida, numa fase de formação da estrutura da nova planta, sua utilização é acelerada, aumentando a mobilização dessas substâncias e provocando altas taxas de redução no tolete.

De acordo com Vieira (1988), a cana-de-açúcar tem necessidade de metabolizar glicose durante os meses iniciais de crescimento e desenvolvimento e utiliza-se do reservatório de glicose, sendo esta a segunda forma de armazenamento de açúcar na cana. Nos tecidos foliares das variedades SP70-1143 e SP71-799 os decréscimos no conteúdo de açúcares redutores (glicose e frutose) foram acompanhados pelos aumentos de sacarose e dos açúcares solúveis totais. Essa condição de baixa atividade de invertase ácida, baixos açúcares redutores e alto teor de açúcares totais, é considerada característica de variedades com maiores rendimentos de açúcar no colmo. Além disso, Vieira (1983, 1988), encontrou distribuição relativa de açúcares e invertases no terço inferior, médio e superior do colmo da cana-de-açúcar NA56-79 com três meses de idade.

Para Vieira (1988), nas lâminas foliares de plantas da variedade CB41-76, a tendência dos conteúdos de todos os componentes de açúcar, com exceção da sacarose, foi de aumentar com a idade.

Segundo Lingle (1996), as variedades de cana-de-açúcar apresentam diferenças nas taxas de acúmulo de açúcares e os mecanismos bioquímicos que explicam essas diferenças ainda são desconhecidos; no entanto, entrenós com maior acúmulo de açúcares tiveram maior atividade da sacarose sintase quando comparados aos entrenós que possuíam menor acúmulo de açúcares.

#### **4.4.3 Proteínas**

A seguir, encontram-se os resultados obtidos para o teor de proteínas (mg proteína total solúvel g matéria fresca<sup>-1</sup>) aos 45 e 90 DAP.

Na Tabela 19, aos 45 DAP, o teor de proteína total solúvel foi maior para as variedades CTC7 e CTC9, as quais não apresentaram diferenças estatísticas entre si. CTC4 apresentou a menor quantidade, ou seja, 4,49 mg proteína total solúvel g matéria fresca<sup>-1</sup>, diferindo significativa das demais. Aos 90 DAP, a variedade CTC9 apresentou a maior quantidade, no entanto, as variedades não apresentaram diferenças estatísticas entre si. O teor de proteínas da CTC9 aumentou 90,39% em relação a quantificação realizada aos 45 DAP.

Em relação a origem das gemas no colmo, na Tabela 20, verifica-se que as gemas apicais e basais possuíam a maior quantidade de proteínas totais solúveis nas folhas e diferiram estatisticamente das gemas medianas. Aos 90 DAP, as gemas apicais apresentaram a maior quantidade, diferindo das gemas medianas, as quais continuaram com o menor teor de proteínas. Tanto para o efeito de variedades quanto origem das gemas no colmo, o teor de proteínas aumentou no período avaliado.

Tabela 19 - Médias do teor de proteína total solúvel (PTS), mg proteína total solúvel g matéria fresca<sup>-1</sup> em folhas de cana-de-açúcar, aos 45 e 90 DAP para as variedades estudadas

Variedades	PTS	
	45 DAP	90 DAP
CTC2	6,84 b	13,68 a
CTC4	4,49 c	11,88 a
CTC6	7,12 b	16,12 a
CTC7	8,86 a	15,30 a
CTC9	8,51 a	16,21 a
R <sup>2</sup>	0,83	0,53
CV (%)	15,89	33,55

Médias seguidas de pelo menos uma letra comum, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Tabela 20 - Médias do teor de proteína total solúvel (PTS), mg proteína total solúvel g matéria fresca<sup>-1</sup> em folhas de cana-de-açúcar, aos 45 e 90 DAP em relação a origem das gemas no colmo

Gemas	PTS	
	45 DAP	90 DAP
Basais	8,03 a	16,81 a
Medianas	5,94 b	12,53 b
Apicais	7,52 a	14,58 ab
R <sup>2</sup>	0,83	0,53
CV (%)	15,89	33,55

Médias seguidas de pelo menos uma letra comum, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Esses resultados diferem dos obtidos por Mendes (2010) pois o teor de proteínas nas folhas da variedade RB867515 mostrou um tendência de diminuição a partir dos 60 DAP, até os 90 DAP, principalmente devido a indução de perfilhamento, pois um aumento no número de perfilhos faz com que as proteínas das folhas sejam translocadas para a formação de novas enzimas, aminoácidos e proteínas, nos drenos em desenvolvimento, reduzindo, assim, o teor de proteínas totais durante o período.



Como considerações gerais, podemos afirmar que:

1. CTC9 possui maior número de gemas brotadas em relação as demais, devido ao grande número de gemas em cada colmo.

2. A brotação de gemas é um parâmetro fisiológico importante para a distinção das variedades precoces e tardias, visto que a variedade precoce CTC9 apresenta maior número de gemas brotadas do que as variedades CTC2 e CTC6. Além disso, gemas apicais apresentam maior brotação quando comparadas as gemas basais e medianas, desde a emergência.

3. Altura de plantas não é um parâmetro capaz de distinguir as variedades precoces das médias – tardias até os 45 DAP. No entanto, verifica-se que as plantas da CTC9 apresentam maior altura de plantas do que a CTC7. A partir dos 48 DAP, variedades médias – tardias apresentam maior altura de plantas quando comparadas a CTC9. Além disso, gemas apicais possuem maiores alturas até os 35 DAP, em relação às medianas e basais. A partir dos 83 DAP, nota-se que as gemas basais apresentam maior altura de plantas do que as apicais.

4. Verifica-se que a variedade precoce CTC7 apresenta maior número de perfilhos na avaliação realizada aos 21 DAP, no entanto o perfilhamento até os 45 DAP não é suficiente para distinguir as variedades precoces das tardias, pois CTC2 e CTC7 apresentam resultados estatísticos semelhantes. A variedade CTC9 inicia o perfilhamento secundário mais rápido que as demais, e as variedades precoces possuem maior número de perfilhos, principalmente nas gemas apicais. Variedades médias – tardias apresentam menor número de perfilhos no período avaliado.

5. As variedades médias – tardias CTC2 e CTC6 junto a CTC7 possuem valores mais elevados de área foliar, massa fresca e seca das folhas.

6. O sistema radicular das variedades não sofre alteração no número e comprimento de raízes adventícias em relação a variedades e origem das gemas aos 45 DAP.

7. Em relação ao diâmetro das plantas, nota-se que a diferença entre as variedades se iniciou aos 55 DAP, sendo que as variedades médias – tardias e CTC9, aos 90 DAP, possuem um diâmetro maior do que a variedade precoce CTC7. Verifica-se que as gemas medianas apresentam um comportamento similar as gemas da base até os 55 DAP. Além disso, verifica-se que as gemas basais possuem maior diâmetro do que as gemas apicais.

8. Para as invertases ácida e neutra, CTC4 apresenta a maior atividade das enzimas, no entanto, não é possível distinguir as variedades precoces das médias – tardias aos 45 e 90 DAP, para as invertases quantificadas. Quanto a origem das gemas, nota-se que as gemas medianas, aos 45 DAP, apresentam maior atividade das enzimas quando comparadas as gemas basais e apicais.

9. Em relação aos açúcares redutores e totais, 90 DAP foram suficientes para distinguir a variedade precoce CTC9 das médias – tardias. As gemas apicais apresentam maior teor de açúcares redutores aos 90 DAP, sendo que as gemas medianas apresentam comportamento igual as basais, com menor teor de açúcares. Para açúcares solúveis totais, essa distinção foi encontrada aos 45 DAP, de modo que a variedade precoce CTC9 possui valores mais altos do que as demais, sendo possível distinguir as gemas apicais das basais, enquanto que as medianas apresentam maior teor, tal como as apicais. CTC4 apresenta um comportamento similar as variedades médias – tardias para açúcares redutores e solúveis totais. Para açúcares solúveis totais, 45 DAP são necessários para a determinação nas variedades.

10. Para o teor de proteínas, encontra-se diferença varietal aos 45 DAP. Variedades precoces apresentam maior teor de proteínas, diferindo das de ciclo médio – tardio (CTC2 e CTC6) e também da CTC4. Para origem das gemas, gemas basais e apicais apresentam resultados maiores de proteínas, tanto aos 45 e 90 DAP, diferindo das gemas medianas.

Podemos considerar que a velocidade de brotação de gemas de cana-de-açúcar tem grande influência varietal, uma vez que a interação desses genótipos no ambiente tem relação direta no número de colmos na touceira encontrado nas variedades. Visto que a área foliar, diâmetro e altura de plantas estão relacionados à produtividade das plantas, a redução no número de folhas e menor perfilhamento varietal ocasiona menor massa seca da parte aérea e contribui para a queda da área fotossintética devido a menor área disponível para a captação da energia solar.

Além disso, o maior número de gemas brotadas nas variedades precoces e gemas apicais pode ser explicado pelos maiores teores de água, nitrogênio e açúcares redutores (glicose e frutose), além de maiores gastos energéticos devido a maior intensidade dos processos fisiológicos e bioquímicos nessas plantas. A

presença de maiores teores de sacarose e sais minerais pode ser responsável pelo atraso na brotação das gemas basais e variedades tardias, uma vez que as invertases precisam suprir os gastos de energia e carbono, através da produção de hexoses pela inversão da sacarose, levando mais tempo para iniciar a brotação das gemas.

Outro fator é que a brotação de gemas de cana-de-açúcar induz a formação de auxinas, através da biossíntese de enzimas que degradam polissacarídeos da parede celular do colmo, e por serem produzidas no ápice do colmo, são distribuídas, por gravidade, até a base do colmo, o que permite maior brotação das gemas apicais.

Outra questão importante é que junto a brotação, ocorre a síntese de enzimas proteolíticas e surgimento de formas solúveis de algumas proteínas, através de corpos protéicos já existentes (polipeptídeos de cadeia curta e aminoácidos livres), aumentando os teores de proteínas solúveis totais nas fases iniciais de desenvolvimento. À medida que o a translocação dessas proteínas para os novos perfilhos vai sendo maior que o acúmulo proveniente dessa liberação, o teor de proteínas nas plantas decai. O mesmo ocorre com os teores de açúcares redutores e açúcares solúveis totais, pois a mobilização de sacarose foliar para a formação dos novos drenos (perfilhos), através da síntese endógena de sacarose, faz com que ocorra a queda nos teores desses açúcares nas plantas.



## 5 CONCLUSÕES

1. Brotação de gemas é um parâmetro importante para a distinção das variedades precoces e tardias aos 45 DAP. Gemas apicais apresentam maior quantidade de brotações quando comparadas as medianas e basais.

2. Altura de plantas não é um parâmetro fisiológico significativo na distinção entre variedades precoces e tardias. Até os 35 DAP, plantas oriundas de gemas apicais possuem maior altura de plantas quando comparadas às originárias de gemas medianas e basais, sendo que a partir dos 83 DAP, as plantas de gemas basais apresentam maior altura de plantas do que as apicais.

3. Variedades precoces provenientes das gemas apicais apresentam maior quantidade de perfilhos quando comparadas às variedades tardias.

4. Diâmetro de colmos é um parâmetro útil na distinção de variedades a partir dos 55 DAP, sendo que as plantas oriundas de gemas basais e medianas apresentam maior diâmetro de colmos a partir dos 55 DAP em relação as originárias de gemas apicais.

5. Os resultados das avaliações tecnológicas mostram que não foi possível distinguir variedades precoces e tardias, para a atividade da invertase ácida e neutra nas folhas, aos 45 e 90 DAP. A quantidade de açúcares redutores foi maior em folhas oriundas de gemas apicais aos 90 DAP, quando comparadas às originárias de gemas medianas e basais. Açúcares solúveis totais e teor de proteínas são parâmetros tecnológicos úteis para distinguir variedades precoces e tardias, aos 45 DAP.



## REFERÊNCIAS

- ALBERT, H.; ZHU, Y.J.; CARR, J.; MOORE, P.H. Structure and expression of soluble acid invertase genes in the stem of high-and-low sucrose accumulating *Saccharum* species and hybrids. In: WILSON, J.R.; HOGARTH, D.H; CAMPBELL, J.A.; GARSIDE, A.L. **Sugarcane: research towards efficient and sustainable production**. Brisbane: CSIRO Division of Tropical Crops and Pastures, 1996. p. 102-104.
- ALEXANDER, A.G. **Sugarcane physiology**. Amsterdam: Elsevier Scientific, 1973. 752 p.
- ALMEIDA, M.; CRÓCOMO, O.J. Caracterização bioquímica de cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.): isoenzimas, proteína solúvel e valor brix. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 51, p. 422-429, 1994.
- ANUÁRIO DA CANA 2010. **Brazilian sugar and ethanol guide**. Ribeirão Preto: Procana, 2010. 136 p.
- AUDE, M.I.S. Estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar e suas relações com a produtividade. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 241-248, 1993.
- BARNES, A.C. Propagation of the cane. **The Sugar cane**, London, v. 1, n. 1, p.210-24, 1964.
- BATTA, S.K.; SINGH, R. Sucrose metabolism in sugarcane grown under varying climatic conditions: Synthesis and storage of sucrose in relation to the activities of sucrose synthase, sucrose-phosphate synthase and invertase. **Phytochemistry**, New York, v. 11, p. 2431-2437, 1986.
- BLACKBURN, F. **Sugar-cane**. New York; Longman, 1984. 414 p.
- BOWEN, J.M.; HUNTER, J.E. Sugar transport in immature internodal tissue of sugarcane. **Plant Physiology**, Honolulu, v. 49, p. 789-793, 1972.
- BRADFORD, M.M. A rapid sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye-binding. **Analytical Biochemistry**, New York, v. 72, p. 248-254, 1976.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Agropecuária e Abastecimento. **Balanco nacional da cana-de-açúcar e agroenergia**. Brasília, 2007. 139 p.
- CÂMARA, G.M.S. Ecofisiologia da cultura da cana-de-açúcar. In: CÂMARA, G.M.S.; OLIVEIRA, E.A.M. **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: FEALQ, 1993. cap. 3, p. 31-64.
- CAMARGO, P.N. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Piracicaba, ESALQ, 1968. 38 p.

\_\_\_\_\_. **Fisiologia de la caña de azúcar**. Trad. de B. Ortiz-villanueva. México: Instituto para el Mejoramiento de la Producción de Azúcar, 1976. 63 p.

CARLIN, D.S.; SILVA, M.A.; ROSSETO, R. Parâmetros biométricos e produtividade da cana-de-açúcar após tombamento dos colmos. **Bragantia**, Campinas, v. 67, p. 845-853, 2008.

CASAGRANDE, A.A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 157 p.

CASAGRANDE, A. A.; VASCONCELOS, A.C.M. Fisiologia da parte aérea. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M.G.A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008. cap. 3/4, p. 57-98.

CASTRO, P.R.C. Curso da fisiologia vegetal aplicada a cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DA FISILOGIA DA CANA-DE-AÇÚCAR, 2000, Piracicaba. Piracicaba: STAB, 2000. 1 CD-ROM.

CASTRO, P.R.C.; MIYASAKI, J. M.; BERNARDI, M.; MARENGO, D.; NOGUEIRA, M.C.S. Efeito do ethephon na maturação e produtividade da cana-de-açúcar. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 76, p. 277-290, 2001.

CEBIM, V.L.S. **Biometria de mudas de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) em dois sistemas de plantio**. 2007. 90 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA. Disponível em: <<http://ctcanavieira.com.br>>. Acesso em: 23 nov. 2011.

CESAR, M.A.A.; SILVA, F.C. **A cana-de-açúcar como matéria-prima para a indústria sucroalcooleira**. Piracicaba: CALQ, 1993. 108 p.

CLEMENTS, H.F. Factors affecting the germination of sugarcane. **Hawaiian Planters' Record**, Honolulu, v. 44, p. 117-146, 1940.

CLEMENTS, H.F.; GHOTB, A. The numbering of leaves and internodes for sugarcane nutrition studies. **Proceedings of the International Society Sugar Cane Technologists**, Taiwan, v. 13, p. 569-584, 1968.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar safra 2011/2012, segundo levantamento. 2011**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 26 nov. 2011.

DEPARTAMENTO INTERSINDICAL DE ESTATÍSTICA E ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS. Estudos e pesquisa: desempenho do setor sucroalcooleiro brasileiro e os trabalhadores. **Estudos e Pesquisas**, São Paulo, ano 3, n. 30, 34 p., fev. 2007;



DILLEWIJN, C.V. **Botany of sugarcane**. Waltham: The Chronica Botanica, 1952. 371 p.

DOUST, A.N. Grass architecture: genetic and environmental control of branching. **Plant Biology**, Missouri, v. 10, p. 21-25, 2007.

DUBOIS, M.; GILLES, K.A.; HAMILTON, J.K.; REBERS, P.A.; SMITH, F. Colorimetric method for the determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, New York, v. 28, p. 350-356, 1956.

ESCHRICH, W. Free space invertase, its possible role in phloem unloading. **Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft**, Berlin, v. 93, p. 363-378, 1980.

FAO. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em: 10 jan. 2012.

FERGUSON, B.J.; BEVERIDGE, C.A. Roles for auxin, cytokinin, and strigolactone in regulation shoot branching. **Plant Physiology**, Santa Lucia, v. 149, p. 1929-1944, 2009.

GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W.; PENATTI, C.P. Crescimento e acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em solo coberto com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, p. 1347-1354, 2001.

GAYLER, K.R.; GLASZIOU, K.T. Physiological functions of acid and neutral invertases in growth and sugar storage in sugar-cane. **Physiologia Plantarum**, Kobenhavn, v. 27, p. 25-31, 1972.

GLASZIOU, K.T. Accumulation and transformation of sugars in sugarcane stalks. **Plant Physiology**, Baltimore, v. 35, p. 895-901, 1960.

GLASZIOU, K.T.; BULL, T.A.; HATCH, M.D.; WHITEMAN, P.C. Effects of temperature, photoperiod duration, and diurnal and seasonal temperature changes on growth and ripening. **Australian Journal of Biological Science**, Melbourne, v. 18, p. 53-66, 1965.

GRACIDA-RODRÍGUEZ, J.; FAVELA-TORRES, E.; PRADO-BARRAGÁN, A.; HUERTA-OCHOA, S.; SAUCEDO-CASTAÑEDA, G. Invertases. In: ANDEY, A.; WEBB, C.; SOCCOL, C.R.; LARROCHE, C. **Enzyme technology**. New Delhi: Asiatech Publ., 2005. p. 449-464.

GROF, C.P.L.; GLASSOP, D.; QUICK, W.P.; SONNEWALD, U.; CAMPBELL, J. A. Molecular manipulation of sucrose phosphate synthase in sugarcane. In: WILSON, J.R.; HOGARTH, D.H.; CAMPBELL, J.A.; GARSIDE, A.L. **Sugarcane: research towards efficient and sustainable production**. Brisbane: CSIRO Division of Tropical Crops and Pastures, 1996. 124 p.

GUIMARÃES, E.R.; MUTTON, M.A.; PIZAURO, JUNIOR, J.M.; MUTTON, M.J.R. Sugarcane growth, sucrose accumulation and invertase activities under trinexapac-ethyl treatment. **Científica**, Jaboticabal, v. 33, p. 20-26, 2005.

HARTT, C.E.; KORTSCHAK, H.P.; FORBES, A.J.; BULL, G.O. Translocation of  $^{14}\text{C}$  in sugarcane. **Plant Physiology**, Washington, v. 38, p. 305-318, 1963.

HATCH, M.D.; GLASZIOU, K.T. Sugar accumulation cycle in sugarcane. II. Relationship of invertase activity to sugar content and growth rate in storage tissue of plants grown in controlled environments. **Plant Physiology**. Washington, v. 38, p. 344-348, 1963.

HUMBERT, R.P. **The growing of sugarcane**. Amsterdam: Elsevier, 1968. 779 p.

JAMES, G. **Sugarcane**. Oxford: Blackwell Science, 2004. 216 p. (World Agriculture Series).

JAMES, N.I. Yield components in random and selected sugarcane populations. **Crop Science**, Madison, v. 11, p. 906-908, 1971.

KOMOR, E.; ZINGSHEIM, O.; SPRÜGEL, H. Cycles of sugar transport and sucrose metabolism in sugarcane tissue: Quantitative determination. In: WILSON, J.R.; HOGARTH, D.H; CAMPBELL, J.A.; GARSIDE, A.L. **Sugarcane: research towards efficient and sustainable production**. Brisbane: CSIRO Division of Tropical Crops and Pastures, 1996. p. 92-94.

LANDELL, M.G.A.; SILVA, M.A. Manual do experimentador: melhoramento da cana-de-açúcar. In: **Metodologia de experimentação: ensaios de competição em cana-de-açúcar**. Pindorama: Instituto Agrônômico, 1995. p. 3-9.

LEITE, G.H.P.; CRUSCIOL, C.A.C.; LIMA, G.P.P.; SILVA, M.A. Reguladores vegetais e atividade de invertase em cana-de-açúcar em mediana de safra. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, p. 718-725, 2009.

LINGLE, S.E. Evidence for the uptake of sucrose intact into sugarcane internodes. **Plant Physiology**, Washington, v. 90, p. 6-8, 1989.

\_\_\_\_\_. Rates of sugar accumulation in sugarcane in relation to sucrose synthase activity. In: WILSON, J.R.; HOGARTH, D.H; CAMPBELL, J.A.; GARSIDE, A.L. **Sugarcane: research towards efficient and sustainable production**. Brisbane: CSIRO Division of Tropical Crops and Pastures, p. 95-97, 1996.

LINGLE, S.E.; IRVINE, J.E. Sucrose synthase and natural ripening in sugarcane. **Crop Science**, Madison, v. 34, p. 1279-1283, 1994.

LINGLE, S.E.; SMITH, R.C. Sucrose metabolism related to growth and ripening in sugarcane internodes. **Crop Science**, Madison, v. 31, p. 172-177, 1991.

LUCCHESI, A.A. Fatores da produção vegetal. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T. (Ed.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p. 1-11.

MACHADO, E.C. **Um modelo matemático-fisiológico para simular o amúmulo de matéria seca na cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 1981. 115 p. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1981.

MACHADO, E.C.; PEREIRA, A.R.; FAHL, J.I.; ARRUDA, H.V.; CIONE, J. Índices biométricos de duas variedades de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 17, p. 1323-1329, 1982.

MADAN, V.K.; SINGH, K.; SHIVAPURI, S.; PANDE, H.P.; SAXENA, Y.R. Activity of invertases in sugarcane leaves. **International Sugar Journal**, Lucknow, v. 82, 974 p., 1980.

MARCHIORI, L.F. **Influência da época de plantio e corte na produtividade da cana-de-açúcar**. 2004. 277 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

MARIOTTI, J.A. Associations among yield and quality components in sugarcane hybrid progenies. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 14., 1971, New Orleans. **Proceedings...** New Orleans: ISSCT, 1971. p. 177-184.

MELO, G.A.; ALVES, J.D.; OLIVEIRA, L.E.M. Propagação da cana-de-açúcar: alterações nos componentes de reservas do tolete durante a brotação. **STAB. Açúcar, Álcool & Subprodutos**, Piracicaba, v. 13, p. 10-15, 1995.

MENDES, L.S. **Efeitos de ethephon e giberelina no desenvolvimento inicial e em alguns parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar**. 2010. 78 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

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

MOURA, C.L.A.; PINTO, G.A.S.; RODRIGUES, S. **Determinação da atividade de invertase em extratos enzimáticos**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2007. 18 p. (Documento, 108).

MUTTON, M.A. **Influência da pré-fertilização nitrogenada associada a sistema de plantio de mudas de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*, var. NA56-79)**. 1990. 274 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

NELSON, N.A photometric adaptation of the Somogyh method for determination of glucose. **Journal of Biological Chemistry**, Baltimore, v. 153, p. 375-380, 1944.

PETERS, K.F.; GROF, C.P.L.; BOTELLA, J.; ALBERT, H. Isolation and genetic manipulation of invertase genes in sugarcane. In: WILSON, J.R.; HOGARTH, D.H.; CAMPBELL, J.A.; GARSIDE, A.L. **Sugarcane: research towards efficient and sustainable production**. Brisbane: CSIRO Division of Tropical Crops and Pastures, 1996. p. 127.

PRADO, F.E.; VATTUONE, M.A.; SAMPIETRO, A.R. Sugarcane glycosidases. A new bound invertase from leaf sheaths. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGARCANE TECHNOLOGISTS, 17., 1978, São Paulo. **Proceedings...** São Paulo: ISSCT, 1978. v. 16, p. 1683-1691.

QUINTELA, A.C.R. **Avaliação do plantio convencional e de cana inteira, com e sem desponte e da compactação pós-cobertura, em duas variedades de cana-de-açúcar**. 1996. 38 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1996.

RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C.; CASAGRANDE, D.V.; IDE, B.Y. Noções fitotécnicas. In: \_\_\_\_\_. **Plantio de cana-de-açúcar: estado da arte**. Piracicaba: Ed. dos Autores, 2006. cap. 3, p. 80-88.

RODRIGUES, J.D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: UNESP, Instituto de Biociências, 1995. 99 p.

SAMPIETRO, A. R.; VATTUONE, M. A.; PRADO, F. E. A regulatory invertase from sugarcane leaf-sheaths. **Phytochemistry**, New York, v. 19, p.1637-1642, 1980.

SAN JOSÉ, J.J.; MEDINA, E. Análisis de la productividad de caña de azúcar. I. Crecimiento, desarrollo de la superficie foliar y contenido de clorofila de caña de azúcar 'PR 980'. **Turrialba**, San José, v. 20, p. 143-148, 1970.

SANTOS, D. Ecofisiologia da cana-de-açúcar. In: INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Recomendações técnicas para cultura da cana-de-açúcar no estado do Paraná**. Londrina 1977. 96 p.

SEGATO, S.V.; MATTIUZ, C.F.M.; MOZAMBANI, A.E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. (Org.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Ed. dos Autores, 2006. cap. 2, p. 19-36.

SEGOVIA, A. Efecto del tamaño, posición del esqueje en la germinación de la caña de azúcar. **Revista de la Facultad de Agronomía**, Buenos Aires, v. 7, n. 4, p. 21-35, 1974.

SILVA, M.A.; CARLIN, S.D.; PERECIN, D. Fatores que afetam a brotação inicial da cana-de-açúcar. **Revista Ceres**. Viçosa, v. 51, p. 457-466, 2004.

SILVEIRA, J.A.G. **Interações entre assimilação de nitrogênio e o crescimento da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) cultivada em condições de campo**. 1985. 152 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) -Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1985.

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. 94 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1986.

SUGUITANI, C. **Fenologia da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) sob efeito do fósforo**. 2001. 79 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

\_\_\_\_\_. **Entendendo o crescimento e produção da cana-de-açúcar: avaliação do modelo MOSICAS**. 2006. 62 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 820 p.

THIND, S.K. Mobilization of reserves by hidrolases in germinating buds of north Indian cultivars. **Sugar Cane**, New Delhi, v. 5, p. 29-31, 1991.

THOM, M.; MARETZKI, A. Evidence for direct uptake of sucrose by sugarcane stalk tissue. **Plant Physiology**, Washington, v. 139, p. 555-559, 1992.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. Informação Unica: retrato da produção em São Paulo safra 03/04. n. 57, p. 1-8, jan. 2004. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/dadosCotacao/estatistica/>>. Acesso em: 10 jan. 2012.

VATTUONE, M.A.; PRADO, F.E.; SAMPIETRO, A.P. Cell wall invertases from sugarcane. **Phytochemistry**, New York, v. 20, p. 189-198, 1981.

VIEIRA, I.M.S. **Efeito do potássio sobre a atividade de invertases, teores de açúcares e compostos nitrogenados em cana-de-açúcar (*Saccharum spp* var. NA56-79) cultivados em solução nutritiva**. 1983. 97 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1983.

\_\_\_\_\_. **Relações entre níveis de açúcares e atividades de invertases em tecidos de quatro cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) cultivadas a campo**. 1988. 197 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1988.

VIEIRA, I.M.S.; OLIVEIRA, E.T.; GALLO, L.A.; BATISTA, T.F.C.; RODRIGUES, R.C.; CROCOMO, O.J. Níveis de açúcares e atividade de invertases em cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) cultivares SP70-1143 e SP71-799. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 71, p. 197-221, 1996.

WELBAUM, G.E.; MEINZER, F.C. Compartmentation of solutes and water in developing sugarcane stalk tissue. **Plant Physiology**, Washington, v. 93, p. 1147-1153, 1990.

WOOD, R.A. Cane deterioration as affected by billet size, delay in milling and other factors. In: SOUTH AFRICAN SUGARCANE TECHNOLOGISTS' ASSOCIATION, 1976, Mount Edgecombe. **Proceedings...** Mount Edgecombe: 1976. p. 12-17.

YOON, C.N. Growth studies on sugarcane. I. Dry matter production. **The Malaysian Agriculture**, Kuala Lumpur, v. 48, p. 47-59, 1971.

ZHU, Y.J.; KOMOR, E.; MOORE, P.H. Relationship of sucrose metabolism enzymes with sucrose storage in sugarcane. In: WILSON, J.R.; HOGARTH, D.H.; CAMPBELL, J.A.; GARSIDE, A.L. **Sugarcane: research towards efficient and sustainable production**. Brisbane: CSIRO Division of Tropical Crops and Pastures, 1996. p. 89-91.