

**CANA-DE-AÇÚCAR: CRESCIMENTO, MATURAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE  
ENERGIA**

**JANE RODRIGUES DE VASCONCELOS**

**CANA-DE-AÇÚCAR: CRESCIMENTO, MATURAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA**

**JANE RODRIGUES DE VASCONCELOS**

Dissertação apresentada a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre - Área de Concentração: Produção Vegetal

Orientador: Prof. Dr. Tadeu Alcides Marques

633.611  
S237p

Vasconcelos, Jane Rodrigues.

Cana-de-Açúcar: crescimento, maturação e distribuição de energia /Jane RodriguesVasconcelos – Presidente Prudente, 2013.

52f.: il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade do Oeste Paulista – Unoeste, Presidente Prudente, SP, 2013.

Orientador: Prof. Dr. Tadeu Alcides Marques

1. *Saccharum* spp.. 2. Matéria orgânica. 3. Solo.  
I. Título.

**JANE RODRIGUES DE VASCONCELOS**

**CANA-DE-AÇÚCAR: CRESCIMENTO, MATURAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA.**

Dissertação apresentada a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre - Área de Concentração: Produção Vegetal

Presidente Prudente, 26 de Junho de 2013

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Tadeu Alcides Marques (Orientador)  
Universidade do Oeste Paulista – Unoeste  
Presidente Prudente-SP

---

Prof. Dr. Paulo Augusto Manfron  
Universidade Santa Maria  
Santa Maria - RS

---

Prof. Dr. Vagner Camarini Alves  
Universidade do Oeste Paulista – Unoeste  
Presidente Prudente-SP

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esta pesquisa a Deus, que sempre esteve junto de mim dando-me forças nas horas mais difíceis, acendendo luzes em momentos de escuridão e acima de tudo me guiando, a todos os momentos, em minha caminhada, fazendo com que este sonho se tornasse realidade.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador, Dr. Tadeu Alcides Marques, que com muito carinho, paciência e rigidez de seus ensinamentos, me fez aprimorar meus conhecimentos.

À FAPESP pela viabilização técnica e financeira do projeto.

Ao Centro de Estudos Avançados em Bioenergia e Tecnologia Sucroalcooleira da UNOESTE  
- CENTEC pelo suporte ao desenvolvimento da pesquisa.

*“Insanidade é fazer sempre as mesmas coisas, esperando resultados diferentes [...]”*

*Albert Einstein*

## RESUMO

### **Cana-de-açúcar: crescimento, maturação e distribuição de energia**

Com a busca da utilização de combustíveis renováveis, como o etanol e devido à demanda do mercado internacional por açúcar, ocorreu aumento na produção de cana-de-açúcar, levando a aumento na área plantada. Na região Centro-Sul as áreas de expansões foram no norte do Paraná, sul do Mato Grosso do Sul, Oeste de São Paulo. Estas regiões apresentam, de maneira geral, solos arenosos e distribuição irregular das chuvas, podendo promover estresse hídrico nas plantas nos períodos denominados de veranico. Para estudar o comportamento da cana-de-açúcar e seu crescimento, parâmetros tecnológicos e distribuição da energia fotossintetizada, montou-se ensaio com o delineamento inteiramente casualizado, sendo com dois tratamentos, 100% de reposição da evapotranspiração e 20% da evapotranspiração, com 10 repetições, utilizando um total de 20 parcelas. Cada parcela experimental foi constituída de um vaso, com uma planta matriz. As mudas foram oriundas de um plantio experimental de cana-de-açúcar na Universidade, com idade média de 10 meses. A variedade utilizada foi a RB 86 7515. Foi executado o "roguing" para a seleção das mudas, antes e após ao tratamento térmico em água a 52°C durante 30 minutos. O objetivo deste trabalho foi avaliar as respostas biométricas, tecnológicas e energéticas na cultura da cana-de-açúcar em plantas irrigadas e submetidas ao estresse hídrico, com o intuito de determinar a distribuição da energia absorvida entre açúcares simples (sacarose, glicose e frutose) e a fibra. Durante o desenvolvimento das plantas, os novos brotos que emergiram (perfilhos) foram desbastados, com o objetivo de se conduzir somente a planta matriz. As mudas de cana-de-açúcar se desenvolveram nesse ambiente controlado durante 4 meses, após esse período as plantas foram coletadas inteiras, e encaminhadas para análises. A reposição da água foi baseada na capacidade de campo do solo coletado, onde em 12 kg de solo foi adicionado 1,5 litros de água, para Capacidade de Campo, sendo: Reposição dos vasos 20% = peso do vaso controle na capacidade de campo - peso do vaso controle um dia após  $\times 0,2 \times Kc$ . Reposição dos vasos 100% = peso do vaso controle na capacidade de campo - peso do vaso controle um dia após  $\times 1,0 \times Kc$ . Os seguintes coeficientes da cultura (Kc) foram utilizados: 0,50 (até 60 dias das plantas na câmara, que compreende o período do plantio até 25% da cobertura) e 0,88 (após 60 dias das plantas na câmara, que compreende o período de 25 a 50% de cobertura). Foram realizadas análises biométricas, tecnológicas e calorimétricas. Com o estresse hídrico ocorreu uma redução em massa para a planta de cana-de-açúcar e para todos os componentes analisados (ATR, Pol, AR, Brix e Fibra). As reduções não foram proporcionais, visto que as concentrações variaram. As moléculas que se destinariam a produção de fibras foram mantidas no citoplasma para pronta conversão em energia. A bioenergia total do sistema foi reduzida na mesma proporção da fitomassa, apenas sua composição foi alterada.

**Palavras-chave:** *Saccharum*, Água, Solo, Energia.



## ABSTRACT

### Cane sugar: growth, maturation and distribution of energy

The search for the use of renewable fuels, such as ethanol, and due to international market demand for sugar, increases in the of sugarcane production leading to expansion in the area planted with sugar cane. In the Center-South of Brazil, areas were expansions in northern Paraná State, southern Mato Grosso do Sul State, west of Sao Paulo State. These regions are, in general, sandy soils and uneven distribution of rainfall and can promote water stress in plants during periods called "veranículos". To study the behavior of sugarcane in its growth, technologic parameters and distribution of energy in products of photosynthesis. The tests were set up with a completely randomized design with two treatments, 100% replacement of evapotranspiration and 20% evapotranspiration, 10 replicates using a total of 20 plots. Each plot consisted of a vase with a plant matrix. The seedlings were derived from an experimental plantation of sugar cane at the University, with an average age of 10 months. The cultivar used was the RB 86 7515. Was executed roguing for selection of seedlings before and after the thermal treatment in water at 52 °C for 30 minutes. The aim of this study was to evaluate the responses biometric technology and energy in the culture of sugar cane in irrigated and water stressed, in order to determine the distribution of the absorbed energy between simple sugars (sucrose, glucose and fructose) and fiber. During the development of plant sugarcane, the new shoots that emerged (tillers) were chopped, with the goal of conducting only the mother plant in the pot. The seedlings of sugar cane developed in this controlled environment for 4 months, after this period the plants were collected whole, and sent for analysis. The replenishing water was based on the ability of field soil collected, where 12 kg of soil was added 1.5 liters of water to field capacity, namely: Replacement of the vessels 20% = weight of the vessel control field capacity – (weight control vessel one day after) X 0.2 X Kc. Replacement vessel weight = 100% control of the vessel at field capacity - weight control vessel one day after X 1.0 X Kc. The following crop coefficients (Kc) were used: 0.50 (plants 60 days in the chamber, comprising the period from planting to 25% coverage) and 0.88 (after 60 days the plants in the chamber, comprising the period of 25 to 50% coverage). The biometric analysis, technological, and calorimetric were performed. With water stress, a reduction in the sugarcane's mass and in all analyzed components (TRS, Pol, RS Brix and fiber). The reductions were not proportional because concentrations of components were very variable. The molecules that were intended to produce fibers were retained in the cytoplasm ready for conversion into energy. The total bioenergy system was reduced in the same proportion of biomass.

**Keywords:** *Saccharum*, Water, Soil, Energy.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1	Cana-de-açúcar.....	11
2.2	Folhas.....	12
2.3	Colmo.....	12
2.4	Raízes.....	13
2.5	Variedades de Cana-de-açúcar.....	13
2.6	Estresse Hídrico.....	14
2.7	Análises Tecnológicas.....	15
2.7.1	Brix.....	15
2.7.2	Pol.....	16
2.7.3	Fibra.....	17
2.7.4	Açúcares totais recuperáveis (ATR).....	17
2.7.5	Pureza.....	17
2.7.6	Açúcares redutores (AR).....	18
2.8	Poder Calorífico.....	19
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1	Preparo das Mudas.....	22
3.2	Preparo dos Vasos e do Solo.....	23
3.3	Condução do Experimento.....	23
3.4	Parâmetros Avaliados.....	24
3.4.1	Análises biométricas.....	24
3.4.2	Análises tecnológicas.....	24
3.4.3	Análises calorimétricas.....	25
3.5	Análises Estatísticas.....	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
5	CONCLUSÃO.....	30
	REFERÊNCIAS.....	31
	ANEXOS.....	36

## 1 INTRODUÇÃO

Em 2013 o Brasil é maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, com um aumento de 4,3% em relação à safra anterior, com uma previsão de 8,5 milhões hectares distribuídos em todos os Estados produtores. O Estado de São Paulo é o maior produtor com 4,4 milhões de hectares com previsão de moagem de 596,63 milhões de toneladas, superando em 6,5% a safra 2011/12 (CONAB, 2012).

A segunda geração da produção de bioetanol através da hidrólise das lignoceluloses é altamente desejável e foco de muitas pesquisas e avaliação de plantas produtoras de energia. Com a finalidade de produção de bioenergia, a cultura agrícola deve ter rápido crescimento e produzir alto rendimento de energia, sendo que a energia obtida em sua colheita deve ultrapassar a energia consumida dos combustíveis fósseis para esta realização. Cumprindo os termos acima, a cana-de-açúcar é uma das culturas mais promissoras (WACLAWOVSKY et al., 2010).

O rendimento econômico (pagamento) da cana-de-açúcar é dado pela produção de sacarose, o componente mais valioso, além de açúcares redutores que no processamento industrial de açúcar acabam compondo o melaço. A fibra da cana (bagaço) pode ser utilizada como fonte de energia para a própria usina ou cogeração para comercialização com distribuidoras (REIN, 2007; ROSSETO, 2012).

O uso do bagaço para cogeração de eletricidade renovável, oriunda do sol e transformada em fitomassa pelas plantas, transforma em importante componente na matriz energética de muitos países. No Brasil o potencial de produção alcança 4 GigaWatts, equivalente a 25% do total gerado pela usina hidrelétrica de Itaipú Binacional, considerada a maior da América do Sul, (GOLDEMBERG, 2010).

A hipótese do presente estudo foi que a distribuição da energia absorvida pela cana-de-açúcar, em diferentes situações de regime hídrico, percorre caminhos metabólicos diferentes, ou proporcionaram diferenças na composição da fitomassa (açúcares simples e fibra).

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos do estresse hídrico nas variáveis biométricas, tecnológicas e energéticas da cultura da cana-de-açúcar.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Cana-de-Açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma poacea originária da Nova-Guiné e foi levada para o sul da Ásia, onde foi usada de início principalmente em forma de xarope. No Brasil há indícios de que o cultivo da cana-de-açúcar seja anterior à época dos descobrimentos, mas seu desenvolvimento se deu posteriormente, com a criação de engenhos e plantações trazidas pelos portugueses. (SEGATO et al., 2006). A cana-de-açúcar tem sido cultivada no Brasil desde 1532 (FIGUEIREDO, 2008), sendo considerada uma das melhores opções para a produção de energia renovável, com grande importância no cenário agrícola mundial. Nas últimas décadas, com a expansão do cultivo da cana-de-açúcar no Brasil, os efeitos do déficit hídrico e demais estresses ambientais sobre a produtividade da cana-de-açúcar têm se tornado cada vez mais evidente (MAULE; MAZZA; MARTHA JUNIOR, 2001).

A cana-de-açúcar é uma planta C4 apresentando maior taxa fotossintética e eficiência na utilização e resgate de CO<sub>2</sub> da atmosfera. Esta é adaptada às condições de alta intensidade luminosa, altas temperaturas e relativa escassez de água. Com relação à demanda hídrica, esta cultura necessita de grandes quantidades de água uma vez que 70% da biomassa produzida é constituída de água e realiza grande volume de evapotranspiração (SEGATO et al. 2006).

As respostas obtidas às alterações do ambiente de produção agrícola são diferentes para as diversas espécies cultivadas, especialmente no que se refere às plantas de metabolismo C3 e C4. As espécies de metabolismo fotossintético C4, como a cana-de-açúcar, são em geral mais eficientes no uso da água, o que lhes confere maior tolerância à deficiência hídrica, salinidade e temperaturas mais elevadas. Nos ambientes que apresentam condições desfavoráveis, a reduzida ou insignificante fotorrespiração dessas plantas confere vantagem adaptativa em relação às plantas do tipo C3 (SAGE; KUBIEN, 2007; STEPIEN; KLOBUS, 2005; YOSHIMURA; KUBOTA; UENO, 2004; WARD et al., 1999). Por outro lado, segundo Sage e McKown (2006) as espécies C3 tendem a apresentar maior plasticidade

fenotípica da fotossíntese do que espécies C4, o que deve contribuir para a maior restrição na distribuição geográfica e ecológica das plantas com metabolismo C4.

Em geral, plantas de cana-de-açúcar necessitam de um total pluviométrico na faixa de 1000 a 2500 mm anuais. Durante a fase de rápido crescimento alcançam picos diários de 5 a 6 mm de água evapotranspirada, nas principais regiões produtoras do país, em função da variedade, do estágio de desenvolvimento da cultura, do porte da planta, do solo e das condições climáticas local. O requerimento hídrico é menor na fase inicial e na maturação do colmo. Assim sendo, o estágio fenológico mais suscetível à ocorrência da deficiência hídrica é o período de rápido crescimento vegetativo para a cana-planta e o estágio de crescimento inicial (perfilhamento) para a cana-soca (FELIPE, 2008). A ocorrência de estresse hídrico nestes períodos acarreta impactos negativos irreversíveis na produtividade e qualidade da matéria prima (MAULE; MAZZA; MARTHA JUNIOR, 2001; INMAN-BAMBER; SMITH, 2005; BRUNINI, 2008; INMAN-BANBER et al., 2008).

## **2.2 Folhas**

As folhas mais velhas, ao secarem, podem ou não se destacar na bainha. A longevidade delas é característica específica de cada variedade, podendo se modificar com a comutação dos fatores externos e com a posição das mesmas em relação ao colmo. Uma folha tem durabilidade média entre 60 e 90 dias. O tempo decorrido entre o aparecimento de duas folhas subseqüentes é de 5 a 8 dias. As folhas constituem um fator muito importante no mecanismo de armazenamento do açúcar pela planta, que é utilizado na formação de celulose e nos processos de respiração e maturação da mesma. O açúcar na planta é translocado das folhas para o colmo, acumulando-se neste, que é o fornecedor da matéria-prima a ser industrializada (CESNIK; MIOCQUE, 2004).

### 2.3 Colmo

O colmo é a parte da planta que está presente acima do solo, sustentando as folhas e panícula. O seu porte pode ser: ereto semiereto ou decumbente. O entouceramento pode ser ralo, médio ou forte. E o colmo é formado por nós e internós (CESNIK; MIOCQUE, 2004).

A forma e a aparência do colmo mudam muito de variedade para variedade. Há uma grande diversidade de cor, comprimento, diâmetro e forma dos internós; tamanho e forma das gemas; forma, tamanho e coloração de folhas. Variações que, em conjunto, permitem reconhecer e identificar as variedades de cana (ORLANDO FILHO, 1983).

### 2.4 Raízes

As raízes são fasciculadas, podendo atingir até 4 metros de profundidade. A maior concentração dela, em média 85%, está nos primeiros 0,5 metros e de 0,2 a 0,3 metros são 60%. Essa porcentagem pode ser alterada pela variedade, mais em valores pequenos (CESNIK; MIOCQUE, 2004).

As primeiras raízes que se desenvolvem após o plantio são as raízes de fixação, originadas dos primórdios radiculares situados na zona radicular do tolete plantado. Durante aproximadamente os primeiros 30 dias de brotação das gemas, a planta vive da reserva de nutrientes contidas no tolete e, parcialmente, do suprimento de água e de nutrientes proporcionado por essas raízes de fixação. Após esse período inicia-se o desenvolvimento das raízes dos perfilhos primários e posteriormente dos secundários, e assim sucessivamente. Até 90 dias após o plantio pode-se dizer que todo o sistema radicular encontra-se distribuído nos primeiros 0,30 m de solo. Estudos clássicos sobre distribuição do sistema radicular da cana evidenciam a existência de três tipos básicos de raízes de cana: raízes superficiais, ramificadas e absorventes; raízes de fixação, mais profundas; raízes-cordão, que podem atingir até seis metros de profundidade. Esse sistema depende das variedades e propriedades físicas e químicas do solo (ORLANDO FILHO, 1983).

## 2.5 Variedades de Cana-de-Açúcar

As variedades RB, lançadas no mercado, permanecem sendo as mais cultivadas nos Estados de São Paulo, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, sendo cultivadas em até 57,8% dos canaviais do estado São Paulo, e 19,7% destes canaviais paulistas utilizam da variedade RB 86 7515 (STAB, 2010).

O cultivar RB 86 7515 foi lançada pela Universidade Federal de Viçosa, e surgiu do cruzamento do cultivar RB 72 454 com outra cultivar indefinida. O crescimento deste cultivar é rápido com alta produtividade agrícola, com curva de maturação semelhante ao RB 72 454. Deve ser plantado em solos de média/baixa fertilidade para ser colhido em meados de safra, ou bem no final para explorar o rápido crescimento (cana de ano). Tolerante à seca, de maneira geral, tem se adaptado muito bem aos solos arenosos dos estados de São Paulo e Paraná, onde o florescimento e chochamento ocorrem em menor intensidade (VILELA; MELO, 1992).

## 2.6 Estresse Hídrico

Nas últimas décadas, com a expansão do cultivo da cana-de-açúcar no Brasil, os efeitos do déficit hídrico e demais estresses ambientais sobre a produtividade da cana têm se tornado cada vez mais evidente (MAULE; MAZZA; MARTHA JUNIOR, 2001). O estresse hídrico é conhecido por alterar uma variedade de processos fisiológicos, tais como a captação de radiação, temperatura foliar (TF), condutância estomática, transpiração, transporte de elétrons, fotossíntese e respiração, que em última análise, determinar o rendimento (QING; JUNG; KAI, 2001). A quantidade de água utilizada por uma cultura está intimamente associado à atividade fotossintética, produção de matéria seca e produção em muitas espécies (TOLLENAAR; AGUILERA, 1992; QING; JUNG; KAI, 2001).

Um problema central da biologia vegetal está relacionado com o problema de otimização da fixação de CO<sub>2</sub> em ambientes com limitação de água. Em ambientes com restrição hídrica, seja por problemas de disponibilidade ou falta de água no solo ou por altas demandas atmosféricas de água, a planta tende a fechar seus estômatos para economizar água, reduzindo as perdas por transpiração,

o que pode limitar a entrada de CO<sub>2</sub> na folha para a fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2004; PEAK et al., 2004). O controle da entrada de CO<sub>2</sub> e saída de água são realizados continuamente por ajustes na abertura dos estômatos distribuídos por todas as folhas. Esta dinâmica de abertura e fechamento dos estômatos é heterogênea e pode ser particularmente aumentada em condições de deficiência hídrica, levando a erros nas medidas de trocas gasosas (MOTT; BUCKLEY, 1998, PEAK et al., 2004).

Segundo Kaiser (1987), sob deficiência hídrica, parte da inibição das taxas fotossintéticas podem ser atribuídas a fatores não estomáticos ao nível dos cloroplastos, como problemas no transporte de elétrons e na fotofosforilação. Isto está embasado no fato de observações terem verificado reduções nas taxas fotossintéticas de plantas sob deficiência hídrica apesar das concentrações foliares internas de CO<sub>2</sub> não terem sido afetadas. Reduções na fotossíntese potencial de plantas submetidas à deficiência hídrica podem estar relacionadas à limitação da síntese de ribulose bi-fosfato (RuBP), e não a inibição das enzimas no ciclo de Calvin. A limitação da síntese de RuBP provavelmente está ligada a redução na síntese de ATP, devido a uma progressiva inativação de fatores de acoplamento resultante do aumento da concentração iônica (Mg<sup>+2</sup>), e não a redução da capacidade do transporte de elétrons ou de prótons (LAWLOR, 2002).

## **2.7 Análises Tecnológicas**

### **2.7.1 Brix**

De acordo com Fernandes (2003), uma das variáveis agroindustriais mais facilmente determinadas em laboratório ou mesmo em campo, é o Brix. Quando se trata de cana madura existe estreita relação entre essa porcentagem e o conteúdo de sacarose na solução. Por consenso, admite-se o Brix como sendo a porcentagem de sólidos solúveis contidos em uma solução açucarada.

Uma vez presentes, os fatores climáticos que fazem com que a cana-de-açúcar passe do estágio vegetativo (intensa produção de biomassa vegetal) para o estágio de maturação, ocorre à paralisação do crescimento vegetativo e acúmulo progressivo de sacarose nas células isodiamétricas do tecido parenquimatoso do



colmo. Sendo a sacarose um dos principais sólidos do caldo (80-90%), o aumento do seu conteúdo acaba por resultar em aumento do Brix do caldo. Como se trata de uma determinação relativamente simples, a determinação do Brix do caldo pode facilmente dar subsídios para avaliação do estágio de maturação em que se encontra um determinado talhão de cana (FRANCO, 2003).

A indústria sucroalcooleira, no Estado de São Paulo, considera que a cana para ser industrializada deve ter, entre outras características, um caldo que contenha no mínimo 18° Brix, ou seja, 18% de sólidos solúveis (FERNANDES, 2003). Assim pode-se considerar que, no momento da colheita, tanto de cana-planta como de cana-soca devem apresentar estes índices como sendo o ponto inicial de maturação indicado para a industrialização (FRANCO, 2003).

### **2.7.2 Pol**

Pol é o índice de sacarose aparente em porcentagem presente na cana ou no caldo da cana. Para a indústria canavieira, quanto mais elevados os teores de sacarose, melhor. A Pol % caldo representa a porcentagem de sacarose contida numa solução de açúcares, enquanto que a Pol% cana é a porcentagem de sacarose existente na cana, caldo + fibra (FERNANDES, 2003). No Estado de São Paulo, uma cana para ser considerada madura deve apresentar Pol% cana variando de 14,4 (início da safra) a 15,3 (transcorrer da safra). Deuber (1988) afirma que uma cana-de-açúcar torna-se madura no momento em que apresentar um teor mínimo de sacarose com Pol% cana acima de 13.

### **2.7.3 Fibra**

É a parte sólida da cana formada pela celulose, lignina, vasos lenhosos, pentosanas, pectinas e outros componentes. É responsável pela sustentação da planta, auxiliando na formação de vasos condutores de seiva, além de armazenar o caldo e seus constituintes (FERNANDES, 2003).

Na lavoura canavieira, a fibra está associada à colheita da cana, evitando o seu acamamento. Na indústria a fibra é apresentada no momento da

moagem, em forma de bagaço sólido. A fibra, em forma de bagaço tem importante relação com o balanço térmico da fábrica. A fibra também é utilizada para a determinação de Pol, AR, ART etc expressos em porcentagem de cana, portanto define a qualidade da cana-de-açúcar (STUPIELLO, 2002).

A umidade está relacionada também a inúmeros cálculos do setor industrial e seu conteúdo pode atingir valores de até 80 e 85% sem que haja excesso de água (ICIDCA, 1999).

Marques et al. (2001) na fase de extração o aumento no teor de fibra de cana resulta dificuldade da moenda em extrair a sacarose. Isso acontece, pois a fração do caldo, uma vez extraída, em parte é reabsorvida pela fibra da cana. A quantidade reabsorvida varia de forma proporcional ao teor de fibra na matéria-prima. Isso vai resultar em maiores perdas de sacarose no bagaço, ou seja, menor eficiência nas moendas. Para se contornar essa situação a saída industrial esta em aumentar o volume de água de embebição. Entretanto, isso uma vez realizado, promove a obtenção de um caldo mais diluído e bagaço mais úmido, resultado em maior consumo de vapor na fase de evaporação da água do caldo no processo de fabricação de açúcar e menor eficiência da queima do bagaço nas caldeiras. Por outro lado, cana com baixos teores de fibra podem inviabilizar o balanço energético da indústria. Quando isso acontece à empresa tem que utilizar de outras fontes de energia como o óleo diesel, lenha e etc. As duas situações resultam em aumentos dos custos de produção.

#### **2.7.4 Açúcares totais recuperáveis (ATR)**

Segundo Fernandes (2003), para a indústria sucroalcooleira, é importante estimar a quantidade de sacarose na matéria-prima, que é passível de ser recuperada na forma de açúcar cristal. O ATR representa todos os açúcares na forma de açúcares invertidos. O teor de ATR pode ser obtido por análise após inversão ácida de sacarose, calculada pela soma dos açúcares, ou, para matérias-primas de alta pureza. Açúcar Total Recuperável (ATR) são geralmente expressos em kg de açúcar por tonelada de cana.

### **2.7.5 Pureza**

A pureza aparente ou simplesmente pureza é definida como a percentagem de Pol no brix, que é o indicador da quantidade de açúcar sacarose em relação aos sólidos solúveis do caldo. A cana-de-açúcar em período de crescimento tem pureza é baixa, devido particularmente à formação e consumo de açúcares para o crescimento. Em período maturação, o acúmulo de sacarose vai elevando a pureza devido ao aumento dos açúcares em relação aos sólidos solúveis (STUPIELLO, 2002).

A pureza, aqui considerada, expressa a porcentagem que a sacarose representa nos sólidos solúveis. Segundo Fernandes (2003), destilarias autônomas têm utilizado a porcentagem de açúcares totais contidas no Brix para expressar a qualidade do caldo para fermentação. No Estado de São Paulo essa variável deve ser no mínimo 80% (início da safra) ou 85% (transcorrer da safra) para que seja recomendada a industrialização da cana.

### **2.7.6 Açúcares redutores (AR)**

Além da sacarose, participam da fração de açúcares no caldo de cana, a glicose e a frutose, dentre outros menos importantes. Os açúcares redutores são produtos precursores de cor no processo industrial de açúcar, isto é, intensificam a cor do açúcar, depreciando sua qualidade (FERNANDES, 2003).

Esses açúcares são sintetizados através da fotossíntese e utilizados pela planta como fonte de energia, a qual é resgatada através de sua degradação pela via respiratória. Além disso, esses açúcares constituem-se na matéria-prima para a formação da molécula de sacarose, carboidrato de reserva. O processo que leva ao acúmulo de sacarose é denominado maturação. Dessa forma canas com estágio de maturação menos avançadas apresentam menos teor de sacarose e maiores teores de açúcares redutores (glicose e frutose). Por outro lado, canas em estágios mais avançados de maturação, com o transcorrer desse processo, têm aumentado progressivamente o teor de sacarose ao mesmo tempo em que há diminuição progressiva no teor de açúcares redutores. Entretanto, esse comportamento esperado nem sempre ocorre, pois o mesmo sofre interferências de

fatores externos como: umidade do solo, fertilização excessiva principalmente no que se refere à adubação nitrogenada, presença de matéria orgânica no solo, aplicação de resíduos orgânicos, os quais atuam no sentido de prolongar a fase vegetativa da cana (FRANCO, 2003).

## 2.8 Poder Calorífico

O poder calorífico define-se como a quantidade de energia na forma de calor liberada pela combustão de uma unidade de massa (JARA, 1989). O poder calorífico de um energético qualquer pode ser definido como a quantidade de energia liberada na forma de calor durante a combustão completa da unidade de massa do combustível, podendo ser medido em  $\text{KJ kg}^{-1}$ ,  $\text{MJ kg}^{-1}$ ,  $\text{TJ kg}^{-1}$  entre outros. Em instalações industriais, a temperatura dos gases de saída geralmente é maior que a temperatura de condensação, portanto o calor latente não é utilizado. Por isso, o PCI é de maior aplicação. Mede-se o poder calorífico superior de um combustível em bomba calorimétrica seguindo as normas da ABNT (CORTEZ; LORA; OLEVARES GÓMEZ, 2008; BRIANE; DOAT, 1985).

O poder calorífico de matérias vegetais pode ser considerado segundo Brito e Barrichelo (1982) de duas maneiras, poder calorífico superior (PCS) e poder calorífico inferior (PCI). Poder calorífico superior é considerado o calor liberado pela queima do material em combustão, sem a redução do consumo de calor ocorrido pela transformação do conteúdo de água líquida em vapor, visto que a água ao mudar de estado absorve calor. O poder calorífico inferior (PCI) é um valor menor, pois ocorre a redução do calor necessário para a vaporização da água líquida contida no material em análise.

O poder calorífico inferior é a energia efetivamente disponível por unidade de massa de combustível após deduzir as perdas com a evaporação da água (JARA, 1989). Segundo Brito (1993), uma forma de obtenção do PCI, é através da fórmula:  $\text{PCI} = \text{PCS} - 600 (9\text{H}/100)$ , que exclui a interferência do vapor de água produzido na combustão do hidrogênio (H) presente no material em combinação com o oxigênio. A maioria dos sistemas de utilização da biomassa para a produção de energia não seca o material abaixo de 10% de umidade, portanto, o

poder calorífico que melhor se aproxima da realidade é o PCU, que é derivado do PCI.

O poder calorífico determina a quantidade de energia que está disponível no combustível e que é liberada na câmara de combustão, através de uma reação química. Quanto maior for o poder calorífico maior é a energia do combustível (PERES, 2007).

A ABNT – Norma NBR 8633 (1984) define Poder Calorífico Superior como sendo o numero de unidades de calor liberado, pela combustão de uma unidade de massa de uma substância, em bomba calorimétrica, em atmosfera de oxigênio, a volume constante e sob condições específicas de modo que, toda água proveniente da combustão, esteja no estado líquido.

A energia total de combustão ( $\Delta H_c$ ), poder calorífico superior, de uma amostra revela a energia solar incidente que efetivamente foi transformada e incorporada a biomassa como energia química, que para cálculos fisiológicos de eficiências energéticas não devem ser diminuídos da quantidade de energia utilizada para evaporação da água líquida contida no material.

Hugot (1972) afirma que o bagaço seco de cana-de-açúcar apresenta a seguinte composição elementar em porcentagem: Carbono = 44,0 a 49,0; Hidrogênio = 6,0 a 7,4; Oxigênio = 41,8 a 48,0 e Cinzas = 1,0 a 2,5.

Fehr (1986) também apresenta a composição química do bagaço seco em porcentagem de cana-de-açúcar: Carbono = 45,95; Hidrogênio = 6,38; Oxigênio = 43,48 e Cinzas = 4,19. Por sua vez, Keenlside (1983) obteve para bagaço úmido os seguintes valores em porcentagem: Fibra = 41,5, 49,8 e 54,0; Cinzas = 6,0, 7,2 e 7,8 e açúcares = 2,5, 3,0 e 3,25, respectivamente, nas unidades de 50, 40 e 35%. Oliveira (1982) fornece os valores em porcentagem de: Carbono = 47; Hidrogênio = 6,5; Oxigênio = 44; Cinzas = 2,5; Sólidos solúveis = 3 a 8 e umidade entre 45 e 52. A composição química do bagaço de cana-de-açúcar varia em função da variedade, do grau de maturação da cultura, do sistema de colheita adotado e da eficiência industrial no processamento da matéria-prima. Afirma que, por definição as fibras são componentes insolúveis em água, constituindo-se principalmente de celulose (41,7 a 62,9%), lignina (20,3 a 33,2%), pentosanas (20,2 a 31,9%) e cinzas (0,6 a 4,6%).

Ripoli (2001) estimou a origem de energia contida em um hectare de cana-de-açúcar, a qual é apresentada na (Figura 3).

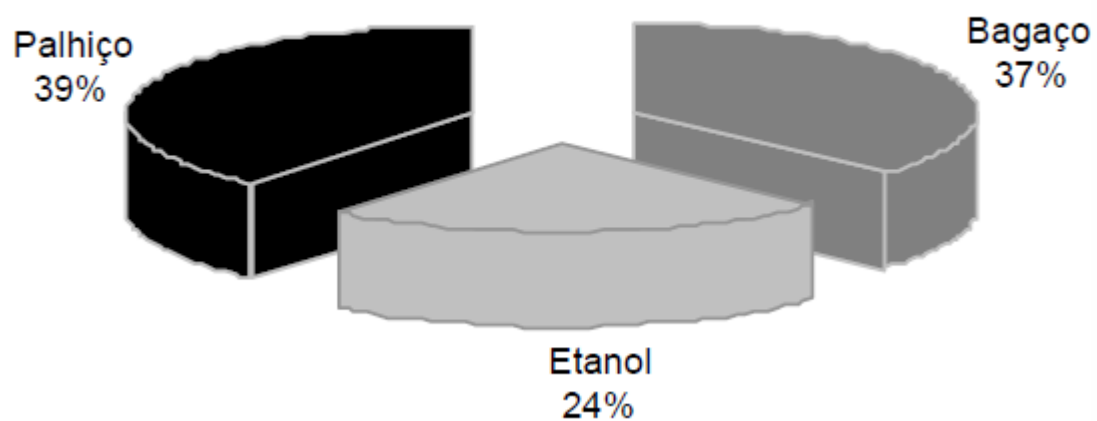


Figura 3. Origem da energia contida em um hectare de canavial.

Fonte: Ripoli, (2001).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

A cultivar estudada foi a RB 86 7515, que lançada pela Universidade Federal de Viçosa e surgiu do cruzamento da cultivar RB 72 454 com outra cultivar indefinida, caracterizada pelo crescimento rápido, alta produtividade e período útil de industrialização (PUI) longo, considerada uma variedade rica, devido aos elevados teores de sacarose. A tolerância à seca, de maneira geral, confere a esta cultivar, ampla adaptação nos solos arenosos dos Estados de São Paulo e Paraná (VILELA; MELO, 1992).

Após a brotação inicial e seleção de mudas, realizada em casa de vegetação climatizada, o experimento foi conduzido em câmara climatizada tipo fitotron (Eletrolab, modelo EI 011), com controle constante de temperatura, fotoperíodo e irradiação, no período de dezembro de 2010 a setembro de 2011.

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado (DIC), estudando-se o desenvolvimento da cana-de-açúcar em dois regimes hídricos: Tratamento 1 (T1) - 100% de reposição e Tratamento 2 - 20% de reposição, referente ao tratamento com déficit hídrico, adotando-se dez repetições por tratamento.

#### **3.1 Preparo das Mudras**

As mudas utilizadas foram oriundas de um plantio experimental de cana-de-açúcar da Universidade do Oeste Paulista, com plantas apresentando idade média de 10 meses. Foi realizado o “roguing” das plantas na escolha das mudas, com a finalidade selecionar plantas que não apresentem doença sistêmica aparente e também eliminar a possibilidade de misturas varietais que possam comprometer a qualidade do experimento (NOGUEIRA, 2006). Foram coletadas as canas através de corte manual com facão desinfetado com fogo, os toletes foram despilhados manualmente e cortados com serra elétrica em toletes de uma gema. No corte dos toletes, o terço inferior e superior da cana foram descartados, aproveitando somente o terço médio. Os toletes selecionados não apresentavam gemas brocadas, danificadas e/ou gemas que apresentassem início de brotação.

Os toletes selecionados foram submetidos ao tratamento térmico, que teve por finalidade principal controlar a doença bacteriana “raquitismo da soqueira” (*Leifsonia xyli*). As gemas selecionadas foram submetidas ao tratamento térmico em água a 52°C durante 30 minutos (SANGUINO et al., 1996). Após o tratamento térmico as mudas foram resfriadas em temperatura ambiente durante 30 minutos, e logo em seguida foi realizado o plantio.

Os toletes foram previamente preparados em copos plásticos de 700 mL, com perfurações laterais na parte inferior, permitindo o escoamento do excesso de água. No fundo dos copos foi colocado uma camada de 0,5 cm de substrato e o restante foi preenchido por uma mistura de 50% de solo de barranco e 50% de esterco curtido e as gemas foram plantadas na profundidade de 7 cm.

### **3.2 Preparo dos Vasos e do Solo**

Foi coletado 1 m<sup>3</sup> de solo, tipo argissolo vermelho/amarelo eutrófico de textura arenosa média, da camada 0 - 0,2 m de profundidade, para o preenchimento dos vasos e análise completa da fertilidade. O solo foi corrigido de acordo com as recomendações de Vitti e Mazza (2008) para a cultura da cana-de-açúcar. Após a correção o solo foi pesado e colocado em vasos plásticos na quantidade de 12 kg de solo.

### **3.3 Condução do Experimento**

Aos 40 dias após o plantio (DAP), selecionou-se 20 mudas em igual estágio de brotação e aparentemente saudáveis, cultivadas em recipientes plásticos de 700 mL. Posteriormente as mudas foram transplantadas para vasos de 12 kg, previamente preparados, e acondicionadas em câmara climatizada tipo Fitotron (Eletrolab, modelo EI 011) mantendo-se o controle total do microclima. A umidade relativa do ar em torno 60 %, e o fotoperíodo com 14 horas de luz e irradiância de 700  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . A amplitude térmica, dentro da câmara fitotron, foi estabelecida em 29°C diurna e 23°C noturna, para os regimes hídricos adotados.



Durante o desenvolvimento das plantas de cana-de-açúcar, aproximadamente 4 meses, os novos perfilhos foram desbastados, com o objetivo de se conduzir somente o colmo primário no vaso. Após esse período as plantas foram coletadas e destinadas para análises.

O manejo de água foi realizado mediante a pesagem dos vasos diariamente. A quantidade de água adicionada foi determinada pela diferença de massa dos vasos entre o dia atual e anterior. Assim sendo, uma vez obtida a diferença, a massa total de água era adicionada (100%) multiplicada pelo coeficiente de cultura (kc) da cana de açúcar, referindo-se ao tratamento sem estresse hídrico, e 20% desta nos vasos do tratamento com estresse hídrico. Considerou-se os valores de kc na fase 01: 0,50, que varia do plantio até 60 dias das plantas na câmara, equivalendo a 25% de cobertura do solo; e na fase 02: 0,88, caracterizada pela equivalência de cobertura de 25 a 50%, considerada após 60 dias das plantas na câmara, adaptados de Doorenbos e Kassam (1994).

### **3.4 Parâmetros Avaliados**

Durante a condução das mudas de cana-de-açúcar na câmara fitotron, as seguintes variáveis fisiológicas foram avaliadas:

#### **3.4.1 Análises biométricas**

As análises biométricas realizadas foram: Altura dos perfilhos durante o processo de crescimento (medido da superfície do solo até a inserção da folha +1 (TVD) no colmo. Diâmetro médio colmo (medido na altura do terço médio do colmo utilizando paquímetro digital). Número de folhas positivas, negativas, folhas secas e número de folhas totais. A periodicidade destas análises foi semanalmente por 4 meses, sendo acompanhado o colmo de cana-de-açúcar de cada vaso (planta matriz), segundo (CASAGRANDE, 1991).

### **3.4.2 Análises tecnológicas**

As análises tecnológicas foram realizadas no final do ensaio, segundo metodologia de Fernandes (2003), para PC (pol da cana), BC (Brix da cana), PuC (Pureza da cana), ARC (Açúcares Redutores da cana), FC (Fibra da cana), ATR (Açúcares Totais Recuperáveis), massa total (colmo e raiz) e comprimento de raiz.

### **3.4.3 Análises calorimétricas**

Com as amostras (colmo) oriundas das análises tecnológicas, no final do ensaio, foram realizadas análises de poder calorífico superior ( $\Delta H_c$ ), bioenergia total, utilizando bomba calorimétrica modelo Calc2K marca DDS, segundo Vale et al. (2007). As amostras foram secas na estufa SPENCER até peso constante (10 min.) adaptação da metodologia de Fernandes (2003).

### **3.5 Análises Estatísticas**

Todos os dados foram submetidos à análise de variância ( $p < 0,05$ ) e ao teste de comparação de médias Scott-Knott ( $p < 0,05$ ), segundo Banzatto e Kronka (2006). Utilizou-se o Programa Microcal Origin 6.0 para estudo estatístico gráfico de variáveis analisadas no tempo.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os componentes tecnológicos analisados apresentaram redução em massa quando a planta sofreu estresse hídrico, contudo a diminuição não ocorreu de forma proporcional para os diferentes componentes. O ATR e POL diminuíram na mesma proporção que a massa de cana-de-açúcar, visto que os valores em concentração mantiveram-se iguais. BRIX e AR diminuíram em proporção menor que a redução de massa de cana-de-açúcar, pois seus valores percentuais se elevaram. A FIBRA diminuiu em maior proporção que a massa, visto que seu valor em percentual diminuiu (Tabelas 1 e 2). A planta desviou parte da energia que deveria ser destinada a produção de fibra para composição dos sólidos, principalmente glicose e frutose, dissolvidas no citoplasma celular. Indicando que nestas condições desfavoráveis, a cana desviou o metabolismo para síntese ATP (Glicólise + Ciclo dos ácidos Tricarboxílicos + Respiração celular) (SAGE; KUBIEN, 2007). Este comportamento se deve à necessidade da maior produção de ATP, do vegetal, para manter a homeostase. Os valores de bioenergia (Tabela 3) não apresentaram diferenças entre os tratamentos ( $15,95 \text{ MJ kg}^{-1}$  no colmo) valores próximos dos apresentados por Amthor (2010) da energia presente na matéria seca global de várias culturas como soja ( $19,1 \text{ MJ kg}^{-1}$ ); sorgo ( $17,2 \text{ MJ kg}^{-1}$ ); milho ( $17,5 \text{ MJ kg}^{-1}$ ) e girassol ( $16,7 \text{ MJ kg}^{-1}$ ). Amthor (2010) encontrou ainda pequenas diferenças em relação à quantidade de energia presente em diferentes partes da planta, por exemplo, na cultura da soja encontraram-se os seguintes valores: raiz  $18,3 \text{ MJ kg}^{-1}$ , caule (haste)  $17,2 \text{ MJ kg}^{-1}$ , folha  $19,0 \text{ MJ kg}^{-1}$  e grãos  $22,8 \text{ MJ kg}^{-1}$ .

A situação de estresse não promoveu diferenças com relação a concentração de Bioenergia ( $\text{MJ kg}^{-1}$ ), no entanto na Bioenergia total (MJ) apresentou uma enorme redução para o tratamento com estresse hídrico, proporcional à redução da biomassa. Não ocorreu desvio metabólico específico da bioenergia, apenas uma redução da energia total do sistema, pelo estresse hídrico, e a planta reagiu convertendo os metabolitos restantes de forma mais intensiva para resistir a fase negativa. A planta transformou os metabolitos que usaria para produção de Fibra em metabolitos de fácil conversão em ATP (Glicose + Frutose), segundo Inman-Bamber e Smith (2005) a redução no desenvolvimento, como primeira resposta ao estresse hídrico restringe o crescimento e alongamento celular,

diminui ou cessa totalmente a expansão de folhas e altera os sólidos solúveis do caldo.

Para os valores de Bioenergia nas raízes observa-se o mesmo comportamento da observado na parte aérea. A Bioenergia total apresentou forte redução para o tratamento com estresse, porém por unidade de massa (concentração de bioenergia), esta não apresentou diferenças. O sistema radicular apresentou menor desenvolvimento em comprimento e em massa quando a planta foi submetida ao estresse hídrico (Tabela 3).

**Tabela 1.** Teste F para as variáveis estudadas

<b>Variáveis Tecnológicas</b>		
<b>Fator de Variação</b>	<b>F</b>	<b>CV%</b>
Massa total	125,17**	21,32
Pol da Cana	NS	18,41
Brix da Cana	23,05**	11,62
Pureza da Cana	17,64**	15,97
AR Cana	21,83**	24,42
ATR	NS	14,36
Fibra Cana	24,70**	21,18
Sacarose massa	51,37**	34,77
Sólidos massa	74,87**	23,81
Glicose + Frutose massa	18,30**	37,91
ATR massa	60,21**	31,05
Fibra massa	123,46**	25,79
<b>Bioenergia do Colmo (TJ ha<sup>-1</sup>)</b>		
<b>Fator de Variação</b>	<b>F</b>	<b>CV%</b>
Massa total	273,85**	18,44
MJ kg <sup>-1</sup>	NS	8,33
Bioenergia	220,04**	20,51
<b>Bioenergia da Raiz (TJ ha<sup>-1</sup>)</b>		
<b>Fator de Variação</b>	<b>F</b>	<b>CV%</b>
MJ kg <sup>-1</sup>	NS	10,83
Bioenergia	23,35**	67,03
<b>Comprimento Raiz</b>		
<b>Fator de Variação</b>	<b>F</b>	<b>CV%</b>
Massa	12,21**	65,17
Comprimento	22,81**	16,53

**Tabela 2.** Variáveis tecnológicas em relação aos tratamentos, T1 (100%) e T2(20%) de reposição de H<sub>2</sub>O.

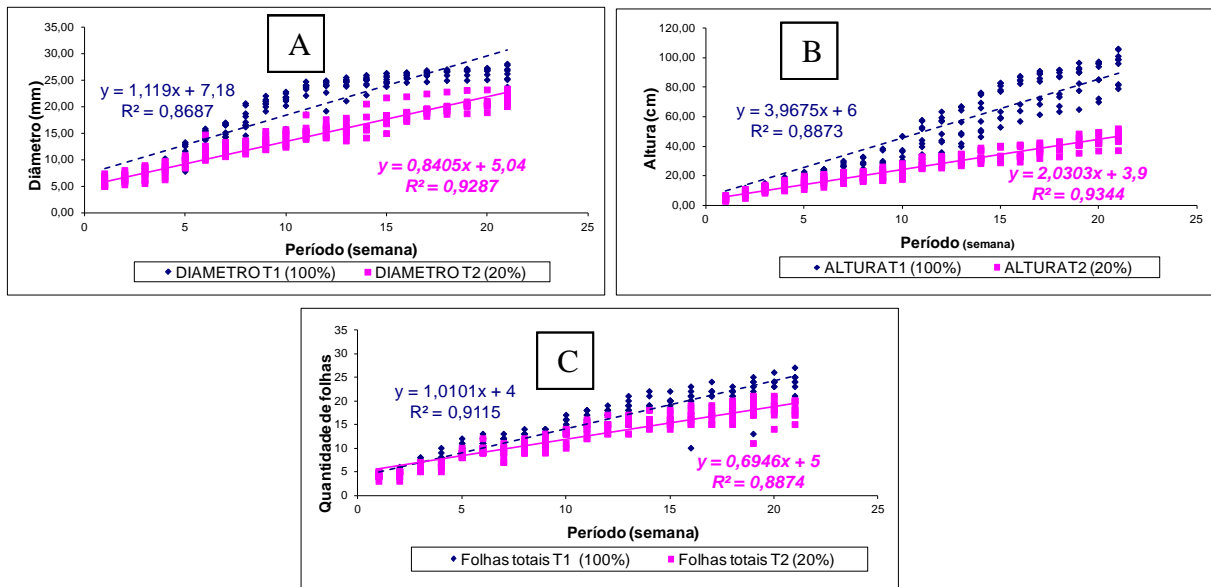
TRA T	VARIÁVEIS TECNOLÓGICAS											
	Pol Cana	Brix cana	Pureza Cana	AR Cana	Fibra Cana	ATR	Sacarose	Sólidos	G + F	ATR	Fibra	Massa Total
			(%)			(g kg <sup>-1</sup> )	(g)					
T1	14,5 7 a	20,7 4 b	69,57 a	1,4 4 b	16,5 8 a	147,6 4 a	36,76 a	51,91 a	3,57 a	37,2 0 a	41,3 0 a	250,03 a
T2	13,2 3 a	27,6 6 a	48,90 b	2,6 2 a	9,32 b	145,6 0 a	7,16 b	14,97 b	1,41 b	7,88 b	5,11 b	54,21 b

Letras minúsculas diferem na coluna (p<0,05) para Scott-Knott.

**Tabela 3.** Variáveis Calorimétricas em relação aos tratamentos, T1 (100%) e T2(20%) de reposição de H<sub>2</sub>O.

	Calorimetria do colmo			Calorimetria da raiz		Produção de raiz	
	Bioenergia	Massa total		Bioenergia		Massa (g)	Comprimento (m)
	MJ kg <sup>-1</sup>	(MJ)	(g)	MJ kg <sup>-1</sup>	(MJ)		
T1	15,90 a	4,04 a	250 a	15,12 a	2,86 a	186,38 a	0,91 a
T2	16,00 a	0,86 b	50 b	15,17 a	0,78 b	51,17 b	0,61 b

Letras minúsculas diferem na coluna (p<0,05) para Scott-Knott.



**Figura 1.** A-Valores de diâmetro médio dos colmos durante a execução do ensaio, para os Tratamentos (T1 e T2). B-Valores de altura dos colmos durante a execução do ensaio, para os Tratamentos (T1 e T2). C-Valores de Folhas totais durante a execução do ensaio, para os Tratamentos (T1 e T2).

Os parâmetros biométricos avaliados (diâmetro, altura e folhas totais), apresentaram maiores taxas de crescimento, coeficiente angular das equações, maiores para o T1, indicando que o estresse hídrico afetou sensivelmente o crescimento vegetativo. Realizando-se a divisão entre os coeficiente angular para os tratamentos T2/T1, observa-se as seguintes reduções: Para diâmetro a taxa foi de 0,75, para a altura a taxa de crescimento de 0,51 e para folhas a taxa foi de 0,69 (Figura 1). O estresse hídrico contribui para redução de fitomassa e no número de folhas, promove o encurtamento dos internódios, remetendo a uma menor produtividade (INMAN-BAMBER et al., 2008; MACHADO et al., 2009; GAVA et al., 2011).

A cana-de-açúcar no campo tem estes efeitos potencializados, pois uma menor área de folhas proporciona menor capacidade fotorespiratória e redução na síntese de substâncias energéticas gerando efeitos sequenciais. Visto que ocorre também desvio, do que se propunha a transformar-se em fibra, para açúcar simples e ATP. Este fato prejudica mais ainda uma recuperação quando a água não for mais limitante.

## 5 CONCLUSÃO

O estresse hídrico reduz a biomassa da cultura da cana-de-açúcar e todas as quantidades mássicas dos componentes tecnológicos analisados (ATR, Pol, AR, Brix e Fibra);

Os açúcares simples (glicose e frutose) foram mantidos no citoplasma;

A bioenergia total do sistema foi reduzida na mesma proporção da biomassa, tendo sua composição percentual alterada.

## REFERÊNCIAS

AMTHOR, J.S. From sunlight to phytomass: on the potential efficiency of converting solar radiation to phyto-energy. **New Phytologist**, n.188, p.939-959, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Carvão Vegetal: Determinação do poder calorífico – método de determinação**; NBR 8633: Rio de Janeiro: ABNT, 1984. 13 p.

BANZATTO, D.A.; KRONKA, S.N. **Experimentação agrícola**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 237 p.

BRIANE, D.; DOAT, J. **Guide technique de la carbonisation: la fabrication du charbon de bois**. Aix-en-Provence: ÉDISUD, 1985. 180 p.

BRITO, J.O. ; BARRICHELLO, L.E.G. Aspectos técnicos na utilização de madeira e carvão vegetal como combustível. In: SEMINARIO DE ABASTECIMENTOS ENERGÉTICO INDUSTRIAL COM RECURSOS FLORESTAIS, 2., São Paulo, 1982. **Anais...** São Paulo: Secretaria de Ciência e Tecnologia, 1982. p.101-108.

BRITO, J.O. Madeira para a floresta: a verdadeira realidade do uso de recursos florestais. **Silvicultura**, Piracicaba, v.11, n.41, p.188-193, 1993.

BRUNINI, O. Ambientes climáticos e exploração agrícola da cana-de-açúcar. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (eds.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, 2008. p.205-218.

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

CESNIK, R.; MIOCQUE, J. **Melhoramento na cana-de-açúcar**. Brasília, DF; Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 307 p.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, segundo levantamento, agosto/2012 - Brasília: CONAB 2012**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 02 out. 2012.

CORTEZ, L.A.B.; LORA, E.S.; OLEVARES GÓMEZ, E. **Biomassa para energia**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2008.

DEUBER, R. **Maturação da cana-de-açúcar na região sudeste do Brasil**. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA DA COPERSUCAR, 1988. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Coopersucar, 1988. p. 33-40.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.M. Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande: **FAO**, 1994. (Estudos FAO, Irrigação e Drenagem 33).

FELIPE, D.C. **Produtividade da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) submetida a diferentes épocas de plantio e a adubação mineral**. Dissertação



(Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba- Centro de Ciências Agrárias, Areia, 2008. – Areia- PB:UFPB/CCA, 2008.70 f

FERNANDES, A. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. 2. ed. Piracicaba: EME, 2003.

FEHR, M. Equivalências efetivas de combustíveis industriais. **Energia**, São Paulo, v.8, n.41/42, p.30-43, jan./abr. 1986.

FIGUEIREDO, P. Breve história da cana-de-açúcar e do papel do Instituto Agrônomo no seu estabelecimento no Brasil. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M. de; LANDELL, M.G. de A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. p.31-44.

FRANCO, A. **Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com lodo de esgoto e vinhaça: nitrogênio no sistema solo-planta, produtividade e características tecnológicas**. 2003. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP.

GAVA, G.J.C. et al. Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de 51 sequeiro e irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.15, n.3, p.250–255, 2011.

GOLDEMBERG, J. **Etanol e bioeletricidade: a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética**. São Paulo: Luc Projetos de Comunicação, 2010.

HUGOT, E. **Handbook of cane sugar engineering**. Nova Iorque: Elsevier, 1972.

ICIDCA. Instituto Cubano de Pesquisa dos Derivados da Cana-de-Açúcar. **Manual dos derivados da cana-de-açúcar: diversificação, matérias-primas, derivados do bagaço, derivados do melaço, outros derivados, resíduos, energia**. Brasília: ABIPTI, 1999. 474 p.

INMAN-BAMBER, N.G. et al. Increasing sucrose accumulation in sugarcane by manipulating leaf extension and photosynthesis with irrigation. **Australian Journal of Agricultural & Resource Economics**, v.59, p.13–26, 2008.

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

JARA, E.R.P. O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1989. (Comunicação Técnica, 1797).

KAISER, W.M. Effects of Water deficit on photosynthetic capacity. **Physiologia Plantarum**, v.71, p.142-149, 1987.

KEENLISIDE, B. A comparison of air pre-heaters and bagasse drying systems for energy efficiency. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS. **Anais...** 1983. p.1508-1517.

LARCHER, W. 2000. *Ecofisiologia Vegetal*. **Rima Editora**, São Carlos, 2000.

LAWLOR, D.W. Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: stomata vs. metabolism and the role of ATP. **Annals of Botany**, v.89, p.871-885, 2002.

MACHADO, R.S. et al. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.12, p.1575-1582, dez. 2009.

MARQUES, M.O. et al. **Tecnologia do açúcar e industrialização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNESP, 2001.

MAULE, R.F.; MAZZA, J.A.; MARTHA JUNIOR, G.B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agricola**, v.58, p.295-301, 2001.

MOTT, K.A.; BUCKLEY, T.N. Stomatal heterogeneity. **Journal of Experimental Botany**, v.49, p.407-417, 1998.

NOGUEIRA, G.A. Produção de mudas de cana-de-açúcar. In: SEGATO. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP2, 2006. p. 79-92.

NOGUEIRA, M.F.M. **Biomassa energética**: caracterização de biomassas. 2009. Disponível em:

<<http://www.bepinet.net/pdfs/Atividades/1st%20School%20of%20combustion,%20Florianópolis%202007/Caracterizacaode%20Biomassa%20Ufpa.pdf>>. Acesso em: 19 mai. 2012.

REIN, P. **Cane sugar engineering**. Berlin: VERLAG, 2007. 768 p.

ROSSETO, R. A bioenergia, a cana energia e outras culturas energéticas. **Pesquisa e Tecnologia**, v.9, n.1, 2012.

ORLANDO FILHO, J. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR, 1983. 369 p.

OLIVEIRA, E.R. Bagaço de cana: um combustível que ainda não recebeu a devida atenção. **Álcool & Açúcar**, São Paulo, v.2, n.4, p.10-19, mai/jun. 1982.

PATURAU, J.M. **Bagasse**: by products of the sugar cane industry. New York: Elsevier, 1969. 262 p.

PEAK, D. et al. Evidence for complex, collective dynamics and emergent, distributed computation in plants. **PNAS**, v.101, p.918-922, 2004.

PERES, S. et al. Caracterização e determinação do poder calorífico e do número de cetano de vários tipos de biodiesel através da cromatografia. In: BIODIESEL CONGRESSO 2007.

QING Z.M.; JING L.G.; KAI C.R. Photosynthesis characteristics in eleven cultivars of sugarcane and their responses to water stress during the elongation stage. **Proc. ISSCT**, v.24, p.642-643, 2001.

RIPOLI, T.C.C. Algumas considerações sobre palhiço como fonte de energia. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE DESENVOLVIMENTO SUSTENTADO AGRÍCOLA, 2001. **Anais...** Ribeirão Preto: INEE, IDEA, 2001.

SAGE, R.F.; KUBIEN, D.S. The temperature response of C3 and C4 photosynthesis. **Plant, Cell and Environment**, v.30, p.1086-1106, 2007.

SAGE, R.F.; MCKOWN, A.D. Is C4 photosynthesis less phenotypically plastic than C3 photosynthesis? **Journal of Experimental Botany**, v.57, n.2, p.303-317, 2006.

SANGUINO, A. et al. Controle do raquitismo da soqueira da cana-de-açúcar em toletes de três gemas pelo tratamento térmico em água a 52° C por 30 minutos. **Relatório CTC**, 1996.

SCARDUA, R.; ROSENFELD, U. Irrigação da cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. (ed.) **Cana-de-açúcar: cultivo e produção**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.373-431.

SEGATO, S.V. (Org.) et al. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. 415 p.

STAB. Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiro de Brasil. Censo varietal de Cana-de-Açúcar de 2009 dos estados de São Paulo, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Sertãozinho, SP. v.28, n.4, p.34-37, 2010.

STEPIEN, P.; KLOBUS, G. Antioxidant defense in the leaves of C3 and C4 plants under salinity stress. **Physiologia Plantarum**, v.125, p.31-40, 2005.

STUPIELLO, J.P. A filha da matéria prima. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.21, n.2, p.12, 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004. p.617-618.

TOLLENAAR, M.; AGUILERA, A. Radiation use efficiency of an old and new maize hybrid. **Agronomy Journal**, v.84, p.536-541, 1992.

VALE, A.T. et al. Caracterização energética e rendimento da carbonização de resíduos de grãos de café (*Coffea arabica* L.) e de madeira (*Cedrelinga catenaeformis*) Duke. **CERNE**, Lavras, v.13, n.4, p.416-20, 2007.

VILELA, H.; MELO, A. Silagem de cana-de-açúcar. **Fazendeiro**, São Paulo, ago. 1992. Disponível em: <<http://www.clubedofazendeiro.com.br/Cietec/Artigos/ArtigosTexto.asp?Codigo=2182>>. Acesso em: 09 ago. 2006.

VITTI, G.C.; MAZZA, J.A. Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cana-de-açúcar. **Informações Agrômicas**, n.97, p.16, 2008. (Encarte Técnico).

WACLAWOVSKY, A.J. et al. Sugarcane for bioenergy production: an assesment of yield and regulation of sucrose content. **Plant Biotechnology Journal**, v.8, p.1-14, 2010.

WARD, J.K. et al. Comparative responses of model C3 and C4 plants to drought in low and elevated CO<sub>2</sub>. **Global Cahnge Biology**, v.5, p.857-867, 1999.

YOSHIMURA, Y.; KUBOTA, F.; UENO, O. Structural and biochemical bases of photorespiration in C4 plants: quantification of organelles and glycine decarboxylase. **Planta**, v.220, p.307-317, 2004.

**ANEXOS**

**(Artigo enviado para revista PAB)**

## HOW ARE COMPONENTS OF BIOENERGY AFFECTED BY WATER STRESS?

**ABSTRACT.** To study the effect of water stress on the production of bioenergy and on the biometric and technological parameters that comprise bioenergy, two treatments were tested: 100% replacement of evapotranspiration and 20% of evapotranspiration, with 10 replicates, using a total of 20 plots, and in a completely randomized design. Biometric, technological and calorimetric analyses were done. With the water stress there was a reduction of biomass and for all the analyzed components (TRS, Pol, RS, Brix and Fiber). The total bioenergy of the system was reduced in the same proportion as the biomass, presenting changes in its composition.

**Keywords:** Saccharum, Water, Soil, Energy.

## **COMO OS COMPONENTES DA BIOENERGIA SÃO AFETADOS PELO ESTRESSE HÍDRICO?**

**RESUMO.** Para estudar o efeito do estresse hídrico na produção de bioenergia e nos parâmetros biométricos e tecnológicos que compõem a bioenergia, testaram-se dois tratamentos, 100% de reposição da evapotranspiração e 20% da evapotranspiração, com 10 repetições, utilizando um total de 20 parcelas, em delineamento inteiramente casualizado. Foram realizadas análises biométricas, tecnológicas e calorimétricas. Com o estresse hídrico ocorreu uma redução de biomassa e para todos os componentes analisados (ATR, Pol, AR, Brix e Fibra). A bioenergia total do sistema foi reduzida na mesma proporção da biomassa, apresentando alterações em sua composição.

**Palavras-chave:** Saccharum, Água, Solo, Energia.

## Introduction

In 2013, Brazil will continue to be the largest producer of sugar cane in the world, with an increase of 4.3% compared to the previous harvest and a forecast of 8.5 million hectares distributed in all producing states. The State of Sao Paulo is the largest producer, with 4.4 million hectares with an estimated 596.63 million tons pressed, exceeding the 2011/12 season by 6.5% (CONAB, 2012).

Sugar cane is a C<sub>4</sub> plant with higher photosynthetic rate and efficiency in the use and recovery of CO<sub>2</sub> from the atmosphere. It is adapted to conditions of high light intensity, high temperatures and relative scarcity of water. However, with respect to water demand, this crop requires large amounts of water because 70% of the biomass produced is composed of water (SEGATO et al. 2006). Generally speaking, sugar cane plants require a total rainfall in the range from 1,000 to 2,500 mm annually. During its rapid growth phase daily peaks reach 5 – 6 mm of evapotranspired water in the main producing regions of the country, depending on the variety, stage of crop development, plant height, soil and local climatic conditions. The water requirement is less in the early phase of the growth stage and in the maturation of the stalk. Thus, the developmental stage most susceptible to the occurrence of water deficiency is the period of rapid vegetative growth for the cane-plant and the early growth stage (tiller growth) for the ratoon cane (FELIPE, 2008). The occurrence of water stress in these periods causes irreversible negative impacts on the productivity and quality of the raw material (MAULE, et al., 2001; INMAN-BAMBER and SMITH, 2005; DANTAS NETO et al., 2006; BRUNINI, 2008; INMAN-BANBER et al., 2008).



The production of second generation bioethanol by means of the hydrolysis of lignocelluloses has been the focus of much research, mainly seeking alternative crops that display good bioenergy production. For good production of bioenergy, the crop must have rapid growth and produce a high energy yield, and from planting to harvest the "input" of energy must be less than the "output". If these requirements are met, sugar cane is one of the most promising crops (WACLAWOVSKY et al., 2010).

The economic yield of sugar cane results from the production of sucrose, its most valuable component, in addition to reducing sugars, which, in the industrial processing of sugar, end up as molasses. Cane fiber (bagasse) can be used as an energy source for the power plant itself or for cogeneration for commercialization with distributors (REIN, 2007; ROSSETTO, 2012).

The use of bagasse for the cogeneration of renewable electricity, coming from the sun and converted into biomass by plants, can become an important component in the energy grid of many countries. In Brazil the production potential reaches 4GW, equivalent to 25% of the total generated by the Bi-national Itaipu hydroelectric plant, the largest in South America (GOLDEMBERG, 2010).

The hypothesis of this study was that the distribution of the energy absorbed by sugar cane in different water regime situations, traverses different metabolic pathways, and these in turn can provide differences in biomass composition (simple sugars and fiber).

The aim of this study was to evaluate the effects of water stress on biometric, technological and energetic variables of sugar cane crops.

## Material and methods

After the initial budding and selection of seedlings, which was done in a climatized greenhouse, the experiment was conducted in a phytotron-type climatized chamber (Eletrolab, EI model 011) with constant temperature control, photoperiod and irradiation, from December 2010 through September 2011.

The experimental design was completely randomized (CRD), and the development of the sugar cane was studied in two water regimes: Treatment 1 (T1): 100% replacement, and Treatment 2: 20% replacement, for the treatment with water deficit, using ten replicates per treatment. The variety studied was RB 86 7515, characterized by rapid growth, high yield and long, useful period of industrialization, and regarded as a rich variety due to its high levels of sucrose. Drought tolerance, in general, makes this variety widely adapted to the sandy soils of the states of Sao Paulo and Paraná (VILELA; MELO, 1992).

One m<sup>3</sup> of red/yellow eutrophic type argisil of medium sandy texture, layer depth 0 to 0.2 m, was collected to fill the pots and a complete fertility analysis was performed. The soil was adjusted according to the recommendations of Vitti (2008) for the cultivation of sugar cane. After adjustment, the soil was weighed and placed in plastic pots containing 12 kg of soil. At 40 days after planting (DAP), 16 apparently healthy seedlings were selected in the same stage of budding and grown in plastic 700 mL containers. Next the seedlings were transplanted to 12 kg pots, prepared beforehand, and then placed in a phytotron-type climatic chamber (Eletrolab, model 011 EI). Total control of the microclimate was maintained. The relative humidity was around 60%, the photoperiod was 14 hours of light, and the irradiance was 700  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Thermal temperature inside the phytotron chamber was kept at 29° C daytime and 23° C nighttime for the water regimes adopted.

During the approximately four month growth of the sugar cane plants, new tillers were cut off, with the aim of growing only the primary stalk in the pot. After this period the plants were collected for analysis.

Water management was carried out by weighing the pots daily. The amount of water added was determined by the difference in mass among the pots from one day to the next. Thus, once the difference was obtained, the total mass of water was added (100%) to increase soil moisture close to field capacity, regarding the treatment without water stress, and 20% of it to the pots of the treatment with water stress. Considering the morphological factors of the plant and its interference on the water dynamics in the production system, the amount of water to be replaced was multiplied beforehand by the crop coefficient (kc) of sugar cane. The values of kc in phase 01 were considered: 0.50, ranging up to 60 days from planting in the chamber, equivalent to 25% ground cover; and in phase 02: 0.88, characterized by the equivalence of 25 to 50% coverage, considered after 60 days of the plants in the chamber, in keeping with DOORENBOS and KASSAM (1994).

During the growth of the sugar cane seedlings in the phytotron chamber, biometric measurements of the height of tillers were taken, in addition to average stalk diameter, number of positive, negative and dry leaves, and totals, according to CASAGRANDE, (1991). The technological analyses were performed according to the methodology of Fernandes (2003), for CP (cane pol), CB (cane brix), CPu (cane purity), RSC (reducing sugars in the cane), CF (cane fiber) and TRS (total recoverable sugars). With (stalk) samples resulting from the technological analyses at the end of the experiment, gross calorific value ( $\Delta H_c$ ) analyzes were carried out using model Calc2K brand DDS pump calorimeter, according to Vale et

al. (2007) and Nogueira (2009). The samples were dried in a SPENCER oven to constant weight (10 min.), using the methodology of Fernandes (2003).

All data were subjected to variance analysis ( $p < 0.05$ ) and to the Scott-Knott's means comparison test ( $p < 0.05$ ), according to Banzatto Kronka (2006). The Microcal Origin 6.0 Program was used for the graphical statistical study of variables analyzed in time.

## **Results and discussion**

The technological components analyzed displayed a reduction in mass when the plant suffered water stress, but the decrease did not occur proportionally for the different components. The TRS and CP decreased in the same proportion as the sugar cane mass, since the concentration values remained the same. CB and ARC decreased in less proportion than the reduction in cane sugar mass, because their percentage values increased. CF decreased in greater proportion than the mass, since its percentage value decreased (Tables 1 and 2). The plant diverted part of the energy that should have been used for the production of fiber to the composition of solids, mainly glucose and fructose, dissolved in the cellular cytoplasm. This indicates that under these unfavorable conditions, the cane diverted its metabolism to ATP synthesis (glycolysis + Tricarboxylic acid cycle + cellular respiration) (KUBIEN and SAGE, 2007). This behavior is due to the plant's need for increased ATP production to maintain homeostasis. The bioenergy values (Table 3) showed no differences between the treatment (15.95 MJ kg<sup>-1</sup> in the stalk) values close to those presented by Amthor (2010) of the energy present in the global dry matter of crops such as soybeans (19.1 MJ kg<sup>-1</sup>), sorghum (17.2 MJ kg<sup>-1</sup>), corn (17.5 MJ kg<sup>-1</sup>) and sunflower (16.7 MJ kg<sup>-1</sup>). Amthor (2010) also found small

differences in relation to the amount of energy present in different parts of the plant; for example, the following values were found in soybean crops: root 18.3 MJ kg<sup>-1</sup>; stalk 17.2 MJ kg<sup>-1</sup>; leaf 19.0 MJ kg<sup>-1</sup> and bean 22.8 MJ kg<sup>-1</sup>.

The stress situation did not cause differences with respect to the concentration of Bioenergy (MJ kg<sup>-1</sup>); however, total Bioenergy (MJ) showed a huge reduction for treatment with water stress, proportional to the reduction in biomass. There was no specific metabolic diversion of bioenergy, only a reduction of the system's total energy due to water stress, and the plant reacted by converting the remaining metabolites more intensively to endure the negative phase. The plant transformed the metabolites that it would use for fiber production into metabolites for easy conversion into ATP (glucose + fructose). According to Inman-Bamber et al. (2005), the reduction in growth, as a first response to water stress, restricts cell growth and elongation, decreases or completely stops leaf growth and alters the soluble solids in the sap.

For Bioenergy values in the roots, we observed the same behavior observed in the shoot. Total bioenergy presented strong reduction for treatment with stress, but per mass unit (concentration of bioenergy), there were no differences. The root system presented less growth in length and mass when the plant was subjected to water stress (Table 3).

**Table 1.** F Test for the variables studied

Technological Variables		
Variation Factor	F	CV%
Total mass	125.17**	21.32
Cane pol	N/A	18.41
Cane brix	23.05**	11.62
Cane purity	17.64**	15.97
Cane reducing sugars	21.83**	24.42
Total recoverable sugars	N/A	14.36
Cane fiber	24.70**	21.18
Sucrose mass	51.37**	34.77
Solids mass	74.87**	23.81
Glucose + Fructose mass	18.30**	37.91
TRS mass	60.21**	31.05
Fiber mass	123.46**	25.79
Bioenergy of the Stalk (TJ ha <sup>-1</sup> )		
Variation Factor	F	CV%
Total mass	273.85**	18.44
MJ kg <sup>-1</sup>	N/A	8.33
Bioenergy	220.04**	20.51
Bioenergy of the Root (TJ ha <sup>-1</sup> )		
Variation Factor	F	CV%
MJ kg <sup>-1</sup>	N/A	10.83
Bioenergy	23.35**	67.03
Root Length		
Variation Factor	F	CV%
Mass	12.21**	65.17
Length	22.81**	16.53

**Table 2.** Technological variables in relation to treatments, T1 (100%) and T2 (20%) of H<sub>2</sub>O replacement..

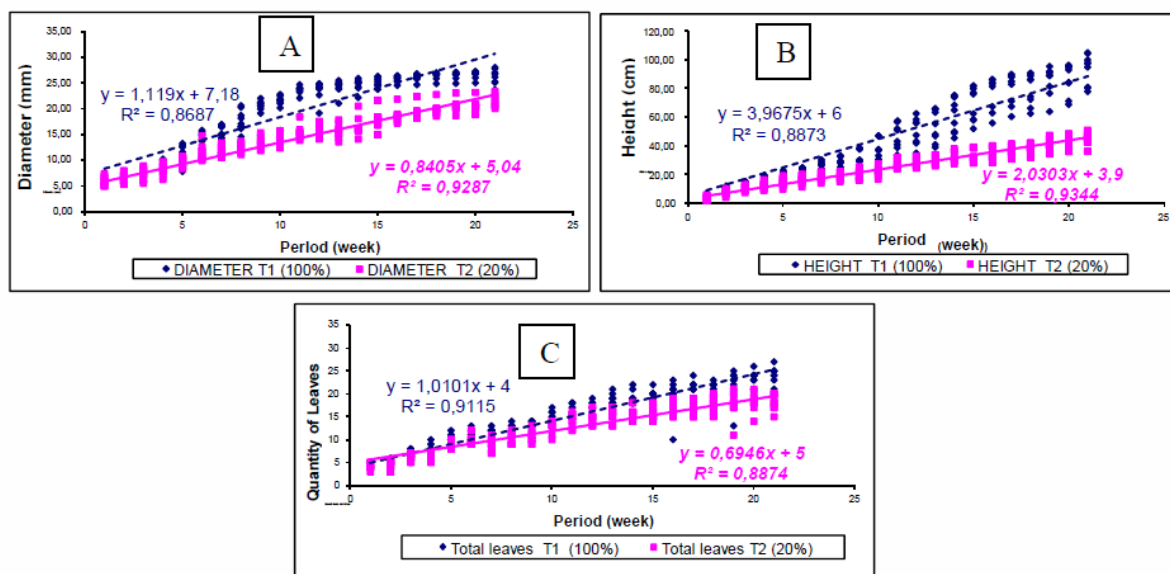
TRAT	TECHNOLOGICAL VARIABLES											
	Cane Pol	Cane Brix	Cane Purity	Cane RSC	Cane Fiber	TRS	Sucrose	Solids	G + F	TRS	Fiber	Total Mass
	Cane Pol, Cane Brix, Cane Purity (%)			Cane RSC, Cane Fiber, TRS (g kg <sup>-1</sup> )			G + F, TRS, Fiber, Total Mass (g)					
T1	14.57 a	20.74 b	69.57 a	1.44 b	16.58 A	147.64 a	36.76 a	51.91 a	3.57 a	37.20 a	41.30 a	250.03 a
T2	13.23 a	27.66 a	48.90 b	2.62 a	9.32 B	145.60 a	7.16 b	14.97 b	1.41 b	7.88 b	5.11 b	54.21 b

Lower case letters differ in the column ( $p < 0.05$ ) for Scott-Knott.

**Table 3.** Calorimetric variables in relation to the treatments, T1 (100%) and T2 (20%) of H<sub>2</sub>O replacement..

	Calorimetry of the stalk			Calorimetry of the root		Root production	
	Bioenergy	Total mass		Bioenergy		Mass	Length
	MJ kg <sup>-1</sup>	(MJ)	(g)	MJ kg <sup>-1</sup>	(MJ)	(g)	(m)
T1	15.90 a	4.04 a	250 a	15.12 a	2.86 a	186.38 a	0.91 a
T2	16.00 a	0.86 b	50 b	15.17 a	0.78 b	51.17 b	0.61 b

Lower case letters differ in the column ( $p < 0.05$ ) for Scott-Knott.



**Figure 1.** A- Average diameter values of the stalks during the experiment for the Treatments (T1 e T2). B- Height values of the stalks during the experiment for the Treatments (T1 and T2). C-Total leaf values during the experiment for the Treatments (T1 and T2).

Evaluated biometric parameters (diameter, height and leaf total), had higher growth rates, angular coefficient of the equations, higher for T1, indicating that water stress significantly affected plant growth. Performing the division between the angular coefficient for treatments T2/T1, we observed the following reductions: For the diameter, the ratio was 0.75; for the height, the growth rate was 0.51; and for the leaves, the rate was 0.69 (Figure 1). Water stress contributes to reduction in phytomass and leaf number and promotes internode shortening, leading to lower productivity (INMAN-BAMBER et al., 2008); MACHADO et al. (2009) (GAVA et al., 2011).

Sugar cane in the field undergoes these exacerbated effects, because a smaller leaf area causes a lower photorespiratory capacity and a reduction in the synthesis of energy substances, thereby generating sequential effects. There is also deviation in what is supposed to become fiber, to simple sugar and ATP. This fact undermines further recovery when there is no longer a shortage of water.

## Acknowledgments

To FAPESP for providing the technical and financial feasibility for the project.

To CENTEC, Center for Advanced Studies in Bioenergy and Sugar-Ethanol Technology at UNOESTE, for the support in the development of the research study.

## Conclusions

Water stress reduced the biomass of cane sugar crops and all the mass amounts of the analyzed technological components (TRS, Pol, RSC, Brix and fiber);

The simple sugars (glucose and fructose) that would have been used for fiber production remained in the cytoplasm;

The total bioenergy of the system was reduced in the same proportion as the biomass, and its percentage composition was altered.

## References

ALFONSI, R.R; PEDRO JR., M. J; BRUNINI, O.; BARBIERI, V. **Condições climáticas para a cana-de-açúcar**. In: Paranhos, S. B. (ed.) Cana-de-açúcar: Cultivo e produção. Campinas, Fundação Cargill, p. 373-431, 1987.

AMTHOR, J. S. From sunlight to phytomass: on the potential efficiency of converting solar radiation to phyto-energy. **New Phytologist** 188: 939-959. 2010.

BANZATTO, D.A.; KRONKA, S.N. **Experimentação agrícola**. 4.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 237 p.

BRUNINI, O. **Ambientes climáticos e exploração agrícola da cana-de-açúcar**. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (eds.). Cana-de-açúcar. Campinas, IAC, p. 205-218, 2008.

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



CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, segundo levantamento, agosto/2012 - Brasília: **CONAB 2012**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 02/10/2012.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.M. Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande: **FAO**, 1994 (Estudos FAO, Irrigação e Drenagem 33).

FELIPE, D.C. **PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum officinarum* L.)**

**SUBMETIDA A DIFERENTES ÉPOCAS DE PLANTIO E A ADUBAÇÃO MINERAL.** Universidade Federal da Paraíba Centro de Ciências Agrárias Programa de pós-graduação em agronomia. Areia - PB Maio/2008.

FERNANDES, A. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar.** 2.ed. Piracicaba: EME, 2003.

FIGUEIREDO, P. **Breve história da cana-de-açúcar e do papel do Instituto Agrônomo no seu estabelecimento no Brasil.** In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; 2008.

GAVA, G. J. C.; SILVA, M. A.; SILVA, R. C.; JERONIMO, E. M.; CRUZ, J. C. S.; KÖLLN, O. T. Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de 51 sequeiro e irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.15, n.3, p.250–255, 2011

GOLDEMBERG, J; Etanol e bioeletricidade : a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética / [coordenação e organização SOUSA, E. L., e MACEDO I. C.] . São Paulo : Luc Projetos de Comunicação, 2010.

INMAN-BAMBER, N. G.; BONNETT, G. D.; SPILLMAN, M. F.; HEWITT, M. L.; JACKSON, J. Increasing sucrose accumulation in sugarcane by manipulating leaf extension and photosynthesis with irrigation. **Australian Journal of Agricultural & Resource Economics**. 59:13–26. 2008.

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

MACHADO, R. S.; RIBEIRO, R. V.; MARCHIORI, P. E. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MACHADO, E. C.; LANDELL, M. G. A. L. Respostas biométricas e fisiológicas ao deficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.44, n.12, p.1575-1582, dez. 2009.

MAULE, R.F.; MAZZA, J.A.; MARTHA JUNIOR, G.B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agrícola**, v.58, p.295-301, 2001.

NOGUEIRA, G. A. **Produção de mudas de cana-de-açúcar.** In: Atualização em produção de cana-de-açúcar. p. 79-92. 2006.

REIN, P. **Cane Sugar Engineering**. Berlin: VERLAG, 2007. 768 p.

ROSSETO, R. **A bioenergia, a cana energia e outras culturas energéticas**. Pesquisa e Tecnologia, v. 9, n. 1, 2012.

disponível:

[http://www.aptaregional.sp.gov.br/index.php/component/docman/doc\\_download/1198-a-bioenergia-a-cana-energia-e-outras-culturas-energeticas?Itemid=195](http://www.aptaregional.sp.gov.br/index.php/component/docman/doc_download/1198-a-bioenergia-a-cana-energia-e-outras-culturas-energeticas?Itemid=195).

Acesso em 13 março 2012.

RODRIGUES, J. D.; 1995, **Fisiologia da Cana-de-açúcar**. In: <<http://www.malavolta.com.br/pdf/1071.pdf>> Acesso em 20 de Março de 2011.

ROSENFELD, U.; LEME, E.J.A. **Produtividade da cana-de-açúcar irrigada por aspersão**: estudo de épocas de irrigação. In. III Congresso Nacional da STAB, São Paulo, Brasil, Resumos, p. 77-84, 1984.

SAGE, R. F.; KUBIEN, D. S. The temperature response of C3 and C4 photosynthesis. **Plant, Cell and Environment** 30:1086-1106. 2007.

SAGUINO, A.; CAMPANHÃO, J. M.; MOMESSO, J. C; GONÇALVES, R. A. Controle do raquitismo da soqueira da cana-de-açúcar em toletes de três gemas pelo tratamento térmico em água a 52° C por 30 minutos (Relatório CTC). 1996.

SEGATO, S. V. [Organizador et al.] **Atualização em produção de cana-de-açúcar – Piracicaba: CP 2, 2006. 415p. : II.**

VALE A. T.; GENTIL, L.V.; GONÇALEZ, J.C. COSTA, A.F da. **Caracterização energética e rendimento da carbonização de resíduos de grãos de café (Coffea arábica L.) e de madeira (Cedrelinga catenaeformis) Duke**. CERNE. Lavras, v.13, n.4. p.416-20. 2007.

VILELA, H., MELO, A. **Silagem de cana-de-açúcar**. Fazendeiro, São Paulo, ago.1992. Disponível em: <http://www.clubedofazendeiro.com.br/Cietec/Artigos/ArtigosTexto.asp?Codigo=2182>. Acesso em. 09 ago. 2006.

VITTI, G. C.; MAZZA, J. A. **Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cana-de-açúcar**. Informações Agrônomicas N97 (Encarte Técnico). 16 pg. 2008.

WACLAWOVSKY, A. J.; SATO P. M.; LEMBKE C. G.; Moore P.H.; SOUZA G. M. **Sugarcane for bioenergy production: an assesment of yield and regulation of sucrose content**. Plant Biotechnology Journal 8: 1-14. 2010.