



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**



**ELENILTON LESSA SILVA DOS SANTOS**

**POTENCIAL HÍDRICO E CAPACIDADE FOTOSSINTÉTICA EM GENÓTIPOS DE  
CANA-DE-AÇÚCAR E CANA-ENERGIA SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA**

Rio Largo

2021

**ELENILTON LESSA SILVA DOS SANTOS**

**POTENCIAL HÍDRICO E CAPACIDADE FOTOSSINTÉTICA EM GENÓTIPOS DE  
CANA-DE-AÇÚCAR E CANA-ENERGIA SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Campus de Engenharias e Ciências Agrárias –  
CECA, da Universidade Federal de Alagoas –  
UFAL como requisito para obtenção do título de  
Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Laurício Endres

Rio Largo

2021

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias**  
Bibliotecária Responsável: Myrtes Vieira do Nascimento

S237p Santos, Elenilton Lessa Silva dos  
Potencial hídrico e capacidade fotossintética em genótipo de cana-de-açúcar e cana-energia sob deficiência hídrica. / Elenilton Lessa Silva dos Santos – 2021.  
45 f.; il.

Monografia de Graduação em Agronomia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias. Rio Largo, 2021.

Orientação: Prof. Dr.. Laurício Endres

Inclui bibliografia

1. Cana-de-açúcar 2. Cana-energia. 3. Estresse hídrico. I. Título.

CDU 633.61

FOLHA DE APROVAÇÃO

ELENILTON LESSA SILVA DOS SANTOS

POTENCIAL HÍDRICO E CAPACIDADE FOTOSSINTÉTICA EM GENÓTIPOS DE  
CANA-DE-AÇÚCAR E CANA-ENERGIA SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Campus de Engenharias e Ciências Agrárias como  
parte dos requisitos para obtenção do título de  
Engenheiro Agrônomo e aprovado em 11 de maio  
de 2021.



---

Prof. Dr. Laurício Endres – CECA/UFAL (Orientador)

**Banca Examinadora:**

---

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Vilma Marques Ferreira – CECA/UFAL

---

Dr. Sebastião de Oliveira Maia Júnior – CECA/UFAL

*Aos meus familiares, que depositaram suas confianças em mim, e que sempre estiveram ao meu lado em todas as etapas de minha vida.*

***Dedico.***

## ***Agradecimentos***

*À Deus, por ter me dado força, ânimo, saúde para continuar a caminhada na luta pela realização dos meus sonhos.*

*À minha família, especialmente a minha mãe, Maria Elivânia Lessa Silva dos Santos pelo amor e apoio durante a minha vida. Ao meu irmão, Elivelton Lessa Silva dos Santos pelo incentivo e companheirismo.*

*À minha tia Maria Eliane Lessa, pelo o apoio constante, por ter me acolhido em sua casa e por ter sido mãe em diversas ocasiões. Obrigado!*

*Aos meus primos, José Alves, Sara Lessa, Ednelma Araújo e Diogo Lessa, obrigado por todo apoio e incentivo, vocês são especiais para mim.*

*Agradeço as oportunidades concedidas pela Universidade Federal de Alagoas, principalmente ao Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, lugar que me disponibilizou grandes oportunidades para adquirir conhecimento profissional.*

*Ao programa de melhoramento genético de cana-de-açúcar – PMGCA por ceder os materiais propagativos para a realização desse trabalho.*

*Ao meu Orientador Professor Dr. Laurício Endres, pela orientação, incentivo, confiança, pelos ensinamentos, e pela oportunidade concedida de ser bolsista de iniciação científica no laboratório de Fisiologia Vegetal.*

*À Dra. Claudiana Moura, muito obrigado pela sua paciência, apoio, suporte, pelas correções, sugestões e tempo dedicado para que eu pudesse finalizar esse trabalho.*

*À técnica do laboratório de Fisiologia Vegetal, Isabela Cardoso, por toda paciência, pelos ensinamentos de técnicas e trabalho no laboratório, pelo carinho e amizade que esteve presente todos esses anos.*

*Aos companheiros do laboratório de Fisiologia Vegetal: Polyana Geysa, Jhulyanne Christiny, André Lucas, Dorothy Adelina, Jailma Ribeiro, Juliany Moura, Paulo Clemente, Sebastião Júnior, Arthur, Lennon, Juliana Pinheiro, Janyenne, Jayne e Nataliana. Pelo companheirismo, pela ajuda, dicas, discussões e pelos momentos de descontração, fazendo com que os resultados desse projeto fossem alcançados.*

*Aos meus amigos de graduação, João Paulo Fernandes, Natalia Helena, Iana Ribeiro Larisse Araujo, Pedro Henrique, Lucas Marques, Philipe Pontes e Maria Luiza, obrigado pela*

*amizade, estudos em grupo e pelos momentos de descontração, tornando-se a graduação uma jornada fácil e agradável.*

*À turma de Agronomia do CECA do segundo semestre de 2015.2 Pela união e pelos bons momentos vividos dentro e fora da sala de aula ao longo desses cinco anos de graduação.*

*Aos meus amigos conquistados durante a graduação, Jessé Rafael, Luiggi Sousa, Jonas Olimpio, Rafaella Moura, Clayton Santos e Luciana Sampaio. que sempre estiveram presentes, me proporcionando momentos felizes e todo tipo de apoio, Obrigado!*

*Aos amigos: Nathalia Lisboa, Janielly Bernardo, Larissa Ludovico, Carolayne Artemizia e Gilvanete de Souza, por compreenderem inúmeras vezes a minha ausência, muito obrigado pela amizade, por todo apoio e incentivo.*

*A todos os professores do CECA que colaboraram para minha formação, exercendo o papel de verdadeiros mestres.*

*E agradeço a todos aqueles que, direta ou indiretamente, cooperaram na realização do presente trabalho.*

## RESUMO

A deficiência hídrica é considerada como o fator ambiental que mais limita a produtividade na cana-de-açúcar. Diante da possibilidade de utilização na produção de biomassa, alguns programas iniciaram novas linhas de pesquisa para desenvolver genótipos de cana-de-açúcar com maior teor de fibra, denominada cana-energia. Porém pouco se sabe sobre mecanismos adaptativos que participam da manutenção do status hídrico da cana-energia. A melhor compreensão desses mecanismos pode contribuir na diferenciação de genótipos com maior potencial adaptativos às condições de sequeiro. Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo estudar de maneira comparativa o potencial hídrico e a capacidade fotossintética de cana-de-açúcar e cana-energia sob deficiência hídrica. O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação, localizada no Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas. Três genótipos foram selecionados para esse estudo, sendo eles: RB11999, RB0442 e RB92579. Após cinco meses do plantio os genótipos foram submetidos a dois regimes hídricos, regime hídrico adequado (Controle, C) e com deficiência hídrica (+D). O delineamento experimental utilizado foi em blocos inteiramente casualizados, em esquema fatorial 3x2, sendo os fatores: três genótipos e dois regimes hídricos, com seis repetições. Foram feitas avaliações de trocas gasosas, a máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fm), a estimativa do conteúdo de clorofila via leitura SPAD, pigmentos fotossintéticos, teor relativo de água e potencial hídrico foliar. Ao longo do período de estresse hídrico foi observado que todos os genótipos apresentaram reduções semelhantes para trocas gasosas. Em relação ao potencial da água na folha ( $\Psi_w$ ), sob deficiência hídrica nos genótipos RB92579 e RB0442 reduziram até -1,80 e -1,84 MPa, respectivamente, enquanto o genótipo RB11999, teve o potencial hídrico foliar mais negativo, (-3,38 Mpa) sendo considerado o mais afetado no período de estresse. A deficiência hídrica no solo causou fortes danos fisiológicos em todos os genótipos estudados, destacando-se o genótipo RB11999, que apresentou características fisiológicas de maior susceptibilidade à seca, como a intensa redução de fotossíntese, eficiência fotoquímica máxima do fotossistema II, teor relativo de água na folha e potencial hídrico da folha.

**Palavras-chave:** características fisiológicas, estresse hídrico, *Saccharum* spp.



## ABSTRACT

Water deficiency is considered the environmental factor that most limits the productivity of sugarcane. Faced with the possibility of its use in biomass production, some programs have initiated new lines of research to develop sugarcane genotypes with higher fiber content, called energy cane. However, little is known about the adaptive mechanisms that participate in the maintenance of the hydric status of energy cane. A better understanding of these mechanisms may contribute to the differentiation of genotypes with higher adaptive potential to dryland conditions. In this sense, the present work aimed to study in a comparative manner the water potential and the photosynthetic capacity of sugarcane and energy cane under water deficiency. The experiment was developed in a greenhouse, located in the Engineering and Agricultural Sciences Campus of the Federal University of Alagoas. Three genotypes were selected for this study, namely: RB11999, RB0442 and RB92579. Five months after planting, the genotypes were submitted to two hydric regimes: adequate hydric regime (Control, C) and with hydric deficiency (+D). The experimental design was in entirely randomized blocks, in a 3x2 factorial scheme, with three genotypes and two hydric regimes, with six repetitions. Gas exchange, maximum photosystem II photochemical efficiency (Fv/Fm), estimated chlorophyll content via SPAD reading, photosynthetic pigments, relative water content and leaf water potential were evaluated. Throughout the water stress period it was observed that all genotypes showed similar reductions for gas exchange. In relation to leaf water potential ( $\Psi_w$ ), under water deficiency the genotypes RB92579 and RB0442 reduced up to -1.80 and -1.84 MPa, respectively, while the genotype RB11999, had the most negative leaf water potential, (-3.38 Mpa) being considered the most affected during the stress period. The water deficiency in the soil caused strong physiological damage in all genotypes studied, highlighting the genotype RB11999, which showed physiological characteristics of greater susceptibility to drought, such as intense reduction of photosynthesis, maximum photochemical efficiency of photosystem II, relative water content in the leaf and leaf water potential.

Keywords: physiological characteristics, water stress, *Saccharum* spp.

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> Ciclo fenológico da cana-de-açúcar.....	<b>15</b>
<b>FIGURA 2.</b> Regiões no Brasil com maior potencial de produção de cana-de-açúcar sob déficit hídrico.....	<b>19</b>
<b>FIGURA 3.</b> Diferenças morfoanatômicas entre cana-energia e cana-de-açúcar.....	<b>22</b>
<b>FIGURA 4.</b> Área experimental do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Alagoas.....	<b>29</b>
<b>FIGURA 5.</b> Médias diárias de temperatura e umidade do ar (A), radiação solar e déficit de pressão de vapor (DPV) (B), registrados durante o período de suspensão hídrica.....	<b>30</b>
<b>FIGURA 6.</b> Umidade do solo durante todo o período de estresse hídrico, leituras da umidade do solo por vaso, Mpa (a) e teor de umidade do solo % (b).....	<b>31</b>
<b>FIGURA 7.</b> Condutância estomática (a), transpiração (b), concentração interna de CO <sub>2</sub> (c), fotossíntese (d), em genótipos de cana-de-açúcar e cana-energia sob deficiência hídrica.....	<b>34</b>
<b>FIGURA 8.</b> Eficiência fotoquímica primária do fotossistema II - Fv/Fo ao meio dia (a); eficiência quântica efetiva do fotossistema II, $\Phi$ PSII (b); conteúdo estimado de clorofila - SPAD (c) e Clorofila Total (d), em genótipos de cana-de-açúcar e cana-energia sob deficiência hídrica.....	<b>36</b>
<b>FIGURA 9.</b> Potencial hídrico da folha ao meio dia (a), e teor relativo de água na folha (b) em genótipos de cana-de-açúcar e cana-energia sob deficiência hídrica.....	<b>37</b>

## SUMÁRIO

RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>14</b>
2.1 ASPECTOS GERAIS DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	14
2.1.1 DEFICIÊNCIA HÍDRICA NA CULTURA.....	16
2.1.1.1 CANA-ENERGIA.....	20
2.1.1.2 CAPACIDADE FOTOSSINTÉTICA.....	23
2.1.1.3 TROCAS GASOSAS.....	25
2.1.1.4 PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS.....	26
2.1.1.5 MÁXIMA EFICIÊNCIA FOTOQUÍMICA DO FOTOSSISTEMA II (Fv/Fm).....	26
2.1.1.6 TEOR RELATIVO DE ÁGUA E POTENCIAL HÍDRICO NA FOLHA.....	27
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>29</b>
3.1 ÁREA EXPERIMENTAL.....	29
3.2 MATERIAL VEGETAL E CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS.....	29
3.3 AVALIAÇÕES FISIOLÓGICAS.....	31
3.4 AVALIAÇÕES BIOQUÍMICAS.....	32
3.4.1 PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS.....	32
3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	32
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>33</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>38</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>39</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma cultura de grande importância econômica mundial devido à sua utilização na indústria de alimentos, e também como fonte valiosa na produção de biocombustível renovável e biomassa (WACLAWOVSKY et al., 2010). Diante da possibilidade de utilização da cana-de-açúcar na produção de biomassa, alguns programas iniciaram novas linhas de pesquisa para desenvolver genótipos com maior teor de fibra, denominada cana-energia (LOUREIRO et al., 2011). Tais genótipos podem incrementar significativamente a cogeração de energia e permitir melhor aproveitamento da celulose e da hemicelulose na produção de etanol de segunda geração (YANG et al., 2006).

O Brasil sendo um país com condições edafoclimáticas favoráveis, grande extensão territorial, relevo apropriado para mecanização agrícola, entre outros fatores, favorece o cultivo da cana-de-açúcar, colocando-o como o maior produtor mundial, e conseqüentemente o maior fornecedor de seus derivados como etanol, açúcar, cachaça e rapadura. A cana-de-açúcar tem grande importância para o agronegócio brasileiro. A área em produção, estimada em 8.605 mil hectares. (CONAB, 2020).

Na Região Nordeste, as condições climáticas constituem fator importante para determinação do rendimento médio da cultura, pelas características históricas da região, especialmente no quesito pluviosidade. De maneira geral, o indicativo de produtividade média para a safra de 2020 é de 59.793 kg/ha, representando aumento de 2,8% em relação à safra anterior (CONAB, 2020).

A produção de cana-de-açúcar possui limitações na produtividade devido aos fatores ambientais. Dentro desses fatores, destaca-se a deficiência hídrica, sendo um dos objetos de pesquisa em vários estudos (ENDRES et al., 2010; INMAN-BAMBER et al., 2012; SILVA et al., 2013; SANTOS et al., 2015). O suprimento de água para as plantas é determinado pela habilidade da cultura em utilizar a água armazenada no solo, enquanto a atmosfera, está relacionada à combinação dos fatores meteorológicos interagindo com o dossel vegetativo da cultura (CARLESSO, 1995). No entanto, estudos ecofisiológicos em cana-energia em resposta a tolerância a seca ainda são escassos, o que torna esse estudo de grande relevância.

O estresse hídrico provoca nas plantas a diminuição do seu potencial hídrico e conteúdo de água, acarretando a perda de turgescência celular, fechamento estomático, e conseqüentemente, redução da atividade fotossintética, que é necessária para a produção de biomassa (LARCHER, 2004). Outros componentes do processo fotossintético também são afetados, tais como, inibição da biossíntese de clorofilas e danos aos fotossistemas, o que provoca a diminuição da eficiência de absorção da energia luminosa (SANTOS et al., 2015). Desta maneira, a compreensão de mecanismos de tolerância à seca é importante para a seleção de plantas com adaptação para ambientes com déficit hídrico (SILVA et al., 2007; GRAÇA et al., 2010).

Estudos que visam a seleção de genótipos que apresentem mecanismos de tolerância à seca se constituem numa alternativa viável para aumentar a produtividade, além de uma necessidade para o futuro na agricultura. Além disso, a identificação de plasticidade fisiológicas relacionadas com a capacidade fotossintética, ou a manutenção do status hídrico da planta podem ser empregadas na compreensão dos mecanismos de tolerância à seca em variedades de cana-de-açúcar e cana energia, permitindo direcionar os cruzamentos em programas de melhoramento da cultura.

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo estudar de maneira comparativa o potencial hídrico e a capacidade fotossintética de cana-de-açúcar e cana-energia sob deficiência hídrica, utilizando três genótipos diferentes.

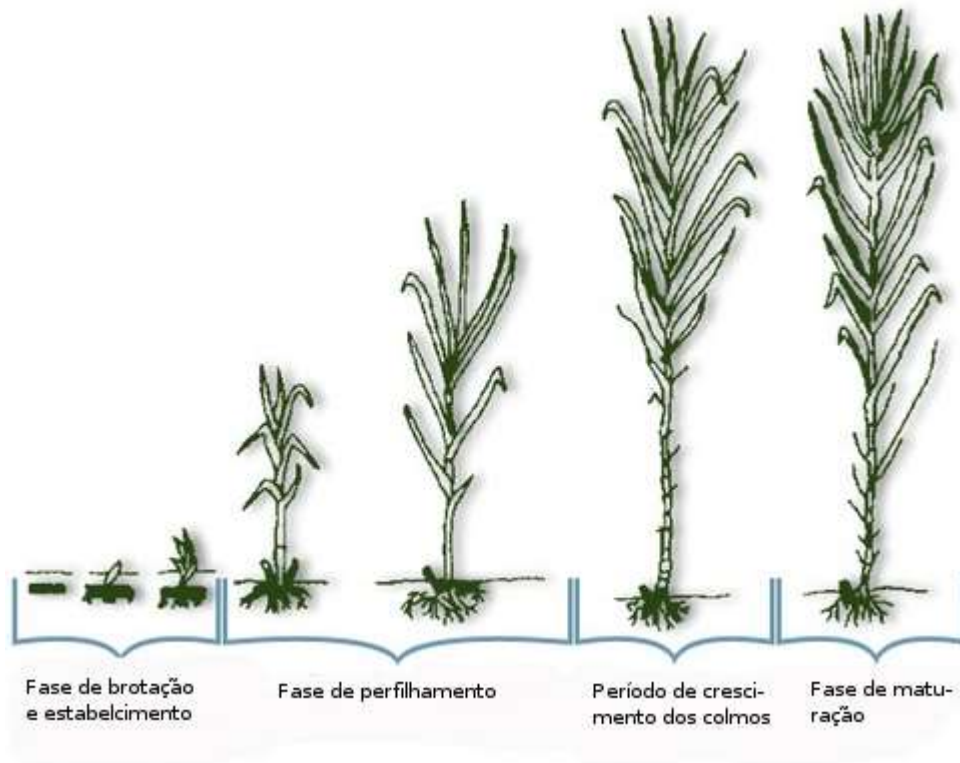
## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 ASPECTOS GERAIS DA CANA-DE-AÇÚCAR

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma planta alógama, pertencente à divisão *Magnoliophyta*, Classe *Liliopsida*, subclasse *Commelinidae*, ordem *Cyperales*, família *Poaceae*, tribo *Andropogonae* e subtribo *Saccharininae*, tendo como centro de origem a Oceania, Nova Guiné e Indonésia, e foi introduzida no Brasil em 1533. A princípio, a espécie *Saccharum officinarum* L era a principal espécie cultivada, entretanto sofreu severos danos causados por doenças e dificuldades de adaptação ecológica. Os cultivares atuais são altamente poliplóides apresentando de 100 a 200 cromossomos. Tal poliploidia é resultado de cruzamentos interespecíficos derivados de *Saccharum officinarum* L., *Saccharum sinense*, *Saccharum barbieri*, *Saccharum spontaneum*, *Saccharum robustm* e *Saccharum edule*. (CASTRO & KLUGE, 2001).

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, possuindo grande importância econômica para o agronegócio brasileiro, (OMETTO, 2000). Com a alta produtividade agrícola, ocorre a produção de açúcar, etanol, aguardente, cera, além de ser consumida de forma natural. O bagaço é utilizado como energia e papel, a vinhaça como fertilizante agrícola e extração de palmito para alimentação humana (LEÃO, 2002).

A cana-de-açúcar possui um ciclo longo (12 a 18 meses), havendo quatro estágios fenológicos: brotação e estabelecimento, perfilhamento, crescimento e maturação dos colmos (Figura 1). Os híbridos cultivados atualmente recebem nomenclatura padronizada, com informações sobre a instituição responsável pelo cruzamento, o ano e o número específico do clone. A expansão da cultura da cana foi possível no mundo graças a programas de melhoramento genético que produziram híbridos interespecíficos, resistentes e melhores adaptados a diversas condições ambientais (MAGRO et al., 2011).



**Figura 1.** Ciclo fenológico da cana-de-açúcar, Gascho e Shih (1983).

A cana é considerada uma planta tropical em sua essência e possui cultivo de longa duração, convivendo assim com todas as estações do ano, durante o seu ciclo de vida, passando, assim, por períodos de veranicos. Os componentes climáticos mais fundamentais que compõem a boa produção e qualidade da planta são luz, temperatura e umidade disponível. A planta se adapta muito bem em áreas quentes e ensolaradas, e a produção máxima de açúcar se dá em estação longa, quente, com alta incidência de radiação solar e boa umidade, sendo que a planta usa 148 a 300 g de água para produzir 1 g de matéria seca (CASAGRANDE, 1991).

A cana-de-açúcar é uma planta que apresenta uma elevada taxa fotossintética e eficiência na utilização de  $\text{CO}_2$  (gás carbônico) da atmosfera (BACCHI, 1985), sendo adaptada às condições de alta intensidade luminosa, altas temperaturas, e a umidade do solo é importante principalmente durante sua fase de crescimento, já que a cultura necessita de grandes quantidades de água para suprir as suas necessidades hídricas, uma vez que somente 30% de seu peso é representado pela matéria seca e, 70% pela água. As raízes, através dos seus pelos absorventes, são responsáveis pela

maior quantidade de absorção de água. O orvalho da madrugada e os chuviscos, que não chegam a atingir o solo, são absorvidos por suas folhas (CASAGRANDE, 1991).

Suas raízes e rizomas responsáveis pela absorção de água também são ricos em reserva nutritiva, providos de nós e entrenós, crescendo horizontalmente no solo. As raízes são fasciculadas, podendo chegar a profundidades acima de quatro metros no solo, no entanto sabe-se que 85% destas raízes acumulam-se em uma faixa de 0,5 m da superfície (SEGATO, MATTIUZ, MOZAMBANI, 2006).

Cada variedade de cana-de-açúcar apresenta diferentes características de acordo com a região, o clima, solo, colheita, tempo de maturação, entre outros, podendo ocorrer diferenças significativas dentro de uma mesma variedade e composição química. Algumas das atribuições de variedades desejáveis são: alta qualidade do suco, alto potencial de cultivo, alto teor de sacarose, falta de florescimento ou pouco florescimento, dentre outros. Com a finalidade de obter máxima produtividade, cada produtor seleciona qual variedade atende melhor às necessidades da região. É importante diversificar as variedades e que estas possuam um pequeno grau de parentesco a fim de procurar diminuir os riscos em relação às doenças e pragas apresentadas no solo utilizado (VERARDI, 2016).

O Brasil é o único país no mundo com duas colheitas anuais de cana-de-açúcar, e isto ocorre devido as suas duas épocas distintas durante o ano. De setembro a abril nas regiões Norte-Nordeste e de maio a dezembro nas regiões Centro-Sul. Portanto a colheita é definida em função da variedade, época de plantio, manejo da maturação e condições climáticas no ambiente (RODRIGUES, 1994).

### **2.1.1 DEFICIÊNCIA HÍDRICA NA CULTURA**

O consumo diário de água para a cana-de-açúcar pode variar entre 2 a 6 mm/dia, em diferentes regiões e condições edafoclimáticas, podendo divergir entre as variedades utilizadas e o estágio de desenvolvimento da cultura. A relação entre o consumo de água e a produção da cana pode chegar a 12,1 mm/t (PERES, 1988).

A cultura da cana-de-açúcar é sensível ao estresse hídrico, e as consequências da deficiência hídrica variam de acordo com o estágio de desenvolvimento da cultura (GASCHO; SHIH, 1983). Dessa forma, os dois primeiros estádios de crescimento são caracterizados por serem os mais



suscetíveis ao déficit hídrico, e o terceiro responde a uma lâmina aplicada, mas o déficit hídrico não ocasiona muitos prejuízos à produtividade; e o quarto estágio responde positivamente ao déficit hídrico (MANTOVANI, 2005).

A cana-de-açúcar apresenta expressiva demanda hídrica no período do perfilhamento e do rápido crescimento que ocorre 60 a 150 dias após plantio sendo relatado que é nesse estágio fenológico que a cultura está mais suscetível ao déficit hídrico, porque a planta obtém um rápido desenvolvimento, expressiva área foliar e dessa forma ela necessita de uma maior quantidade de água para viabilizar a troca de gases com a atmosfera (MACHADO et al., 2009).

Sabe-se que a deficiência hídrica é uma condicionante que reduz o desenvolvimento e potencial de produção das plantas, estando diretamente relacionado ao local com ocorrência de veranicos, ou seja, de baixa precipitação e elevada temperatura e radiação solar, bem como, ausência no manejo da irrigação. Esta carência de água nas plantas responsável por gerar os efeitos do estresse é manifestada como todo o conteúdo de água de um tecido ou célula que está abaixo do padrão de água substancial exibido no estado de maior hidratação (HOLANDA et al. 2015).

É fundamental que a cultura de cana-de-açúcar disponha de água durante as diferentes fases de seu ciclo produtivo, principalmente no início do seu desenvolvimento. A cultura tem necessidade hídrica em média de 1.500 a 2.500 mm de chuva (dependendo da variedade e região de cultivo ao redor da Terra), os quais devem ser subdivididos de acordo com a demanda durante o crescimento. Por dia, o consumo pode variar em torno de 2,0 a 6,0 mm de água, nas principais regiões produtoras, podendo divergir entre as variedades utilizadas e o estágio de desenvolvimento da cultura (BERNARDO, 2006).

O crescimento da cana-de-açúcar é definido por quatro diferentes fases fenológicas (germinação, perfilhamento, crescimento elevado e maturação), podendo apresentar maior ou menor impacto na produtividade agrícola, conforme se acentua o déficit hídrico entre os estágios de crescimento. O efeito do estresse hídrico nas diferentes fases de desenvolvimento da cultura ainda não é bem definido na literatura, mesmo sendo uma planta C4. Contudo, sabe-se que o grau de injúria promovido pelo estresse depende consideravelmente do estágio fenológico da planta e da duração do estresse (INMAN-BAMBER & SMITH, 2005).

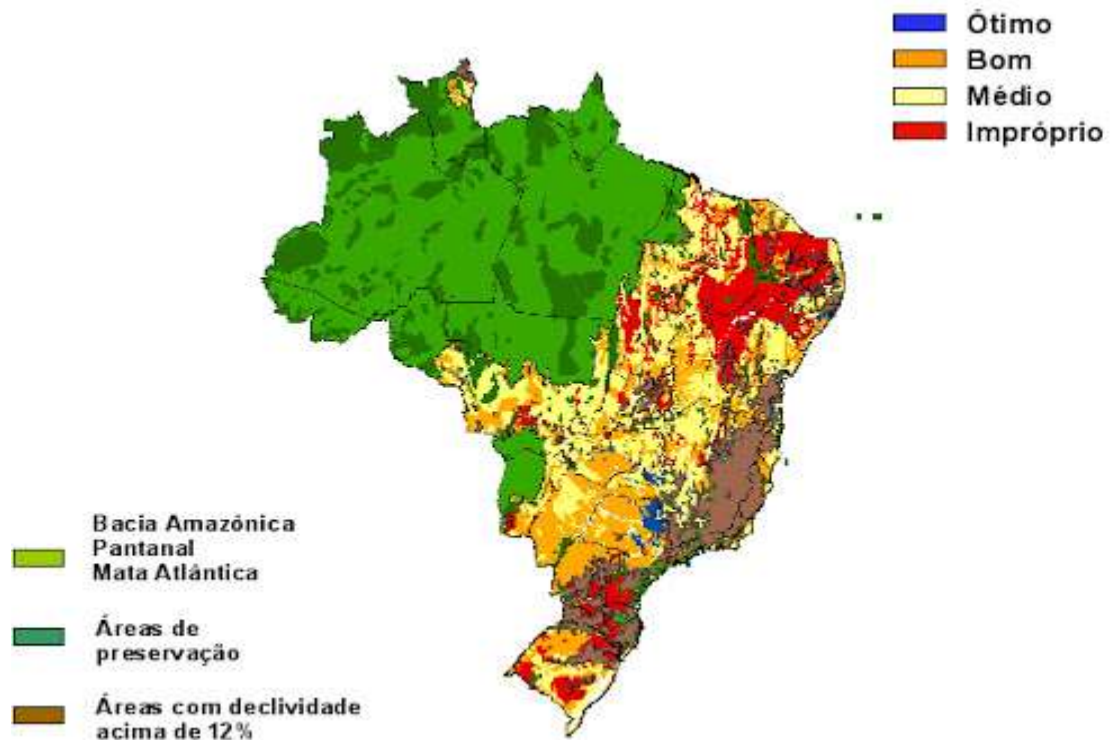
O déficit hídrico é uma situação comum à produção de cana-energia, podendo apresentar um impacto negativo substancial no crescimento e desenvolvimento na cultura, e consequentemente na produção de biomassa. Esse fator desencadeia um conflito entre a

conservação da água pela planta e a taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> para produção de carboidratos. A necessidade de sobrevivência leva a planta a desenvolver mecanismos morfofisiológicos, que as conduzem a economizar água para uso em períodos posteriores, afetando assim o seu metabolismo, conseqüentemente a produção de biomassa. (LECOEUR & SINCLAIR, 1996).

MACHADO et al. (2009), salienta como a disponibilidade hídrica adequada reduz significativamente as perdas e proporciona condições favoráveis para o desenvolvimento vegetativo da planta, quando o estresse hídrico é mais acentuado nas fases iniciais de crescimento. SILVA & COSTA, (2004), explica sobre a maior suscetibilidade da cana-de-açúcar ao estresse hídrico na fase de crescimento elevado promove efeitos mais severos na redução das taxas de crescimento do colmo, na produção de fitomassa e no rendimento de sacarose, confirmando os resultados de WIENDENFELD (1995), ao verificar perdas de produtividade com a redução da disponibilidade hídrica na fase de alongação do colmo.

A deficiência hídrica não se limita apenas às regiões áridas e semiáridas, em regiões úmidas também ocorre o mesmo problema, com distribuição irregular das chuvas e solos cujas características físicas podem limitar o armazenamento de água, o crescimento e a produtividade final. Com a limitação de água no solo e dependendo da fase fenológica da cultura, tal problema poderá causar um estresse ainda maior na cultura de cana-de-açúcar. Plantas sob estresse hídrico acabam tendo decréscimo acentuado na produção de fitomassa, tanto da parte aérea como de raízes, chegando a atingir valores maiores que 35% em perdas na cultura de cana-de-açúcar, caso ocorram períodos de intenso estresse hídrico nas fases iniciais de desenvolvimento e crescimento dos colmos, causando perdas também na matéria prima final (INMAN-BAMBER, SMITH, 2005).

Avanços da agrotecnologia da irrigação na cultura de cana-de-açúcar e o lançamento de novas variedades são algumas das alternativas de evolução tecnológica. A combinação da irrigação com variedades adaptadas ao clima, solo e demais fatores ambientais, proporciona resultados satisfatórios na qualidade do caldo, produção de colmos, açúcar, como também na produção de biomassa, requisito de suma importância para cana-energia. Entretanto, grande parte dos canaviais irrigados estão sendo conduzidos em áreas inadequadas, de baixa fertilidade, com uso de variedades não responsivas à irrigação, com excesso de adubação, o que limita a produtividade da cultura (FARIAS et al., 2008). (Figura 3).



**Figura 2.** Regiões no Brasil com maior potencial de produção de cana-de-açúcar sob déficit hídrico. Fonte: Adaptado de CGEE, 2007.

A compreensão da capacidade fotossintética, bem como dos mecanismos hídricos é de suma importância para a compreensão da precipitação, irrigação, evaporação, transpiração, e conservação de água no solo. A evapotranspiração pode atingir níveis críticos para as plantas de cana-de-açúcar, normalmente quando a cultura se encontra na fase de crescimento vegetativo e alongamento dos colmos (KEATING et al., 1999).

A existência do estresse hídrico na cana-de-açúcar, manifesta diversas mudanças específicas e morfofisiológicas, tais como a diminuição na altura das plantas, redução no diâmetro de colmos, queda de folhas verdes, porcentagem diminuta da área foliar, dentre outras.

### 2.1.1.1 CANA-ENERGIA

A preocupação mundial em reduzir as emissões de poluentes ao ambiente, gerados pela queima de produtos derivados do petróleo é constante. Porém, as projeções da Energy Information Administration (EIA) do consumo mundial de petróleo para 2030, giram em entorno de 229,3 quadrilhões de Btu (Unidade Térmica Britânica). Assim, é de suma importância a implementação de políticas públicas de incentivo a pesquisa, criação e desenvolvimento de alternativas sustentáveis ao petróleo.

Para produzir biomassa em atendimento à necessidade energética da humanidade sem competir com a produção de alimentos, deve-se priorizar a produção de plantas fibrosas, ao invés de amiláceas e oleaginosas. Plantas fibrosas trazem diversas vantagens e atendem bem aos requisitos julgados importantes para serem eleitas como produtoras de biomassa (STICKLEN, 2008). A partir dos trabalhos de RUBIN (2008), SCHMER et al. (2008), HILL et al. (2006) e COOMBS (1984), podem ser enumerados os seguintes requisitos:

- Plantas de alta eficiência energética, com alta capacidade de transformação da energia solar em biomassa, com baixo consumo hídrico, nutrientes e outros fatores (plantas C4);
- Culturas com crescimento perene e dossel de longa duração para permitir colheita durante a maior parte do ano;
- Possibilidade de aplicação de tecnologia agrícola de produção em grande escala;
- Plantas que promovem uma fácil e eficiente transformação em formas utilizáveis de energia; e
- Produção sustentável, economicamente viável e ambientalmente aceita, com pouco trabalho de preparo de solo (menos erosão) e de plantio (perene) e menor uso de fertilizantes e demais insumos agrícolas.

Neste contexto, surge a cana-energia, uma alternativa sustentável voltada para a produção de biomassa, que devido à menor exigência de nutrientes e boa adaptação edafoclimática pode ser implantada em várias regiões do país (VIOLANTE, 2012). A cana-energia surgiu de modo que reconfigurou o cenário agrícola e produção de energia. Atualmente, a biomassa proveniente da cana-de-açúcar é vista como fonte renovável de energia, bem como uma alternativa viável frente à

utilização de combustíveis fósseis, podendo ser queimada diretamente em fornos e caldeiras ou convertida em outros combustíveis. O bagaço de cana queimado em caldeiras, por exemplo, pode gerar vapor, o qual pode ser utilizado na geração de eletricidade para atender a demanda da indústria canavieira ou ser vendida na rede (COBILL, 2008).

O foco na produção de cana-de-açúcar se direcionou, ao longo do tempo, na busca de variedades e práticas agrícolas para obtenção de um alto rendimento de sacarose por hectare plantado (MACEDO, 2005). A cana-energia é um resultado de um cruzamento de híbridos comerciais e ancestrais para produção de uma cana mais robusta, resistente a pragas e variações climáticas. Possuindo um maior teor de fibras e menos sacarose, é considerada uma alternativa na obtenção de etanol de segunda geração. O desenvolvimento de híbridos de cana-de-açúcar com maior quantidade de biomassa lignocelulósica tem sido objeto de diversos estudos (SUN & CHENG, 2008).

A cana-energia é, portanto, formada basicamente por fibras lignocelulósicas, as quais quase sempre precisam passar por um processo de pré-tratamento para separação, e então utilização, da celulose (BROSSE, 2011). Embora o teor de fibras seja uma característica importante para geração de cana energia, o teor de lignina não deve ser ignorado num programa de melhoramento, uma vez que a lignina possui maior poder calorífico, importante para um combustível, além de atuar como fonte de sustentação estrutural da planta (COBILL, 2008). Entre as exigências das culturas energéticas estão o fácil cultivo, alta densidade energética, sem sazonalidade e crescimento em condições adversas para não competir com terras agricultáveis, além de não ter alto custo para uso direto ou em tecnologias de transformação (MATSUOKA, 2014).



**Figura 3.** Diferenças morfoanatômicas entre cana-energia e cana-de-açúcar. Fonte: GRANBIO, 2021.

Buscando atender as novas demandas do setor sucroenergético, o foco na obtenção das futuras cultivares deve ser concentrado no aumento substancial do teor de fibras aliado a maior produtividade, sendo denominadas de cana-energia e poderão apresentar mais de 30% de fibra em sua composição. A cana-energia é obtida por cruzamentos genéticos obtendo-se materiais com mais fibras e com menos açúcar, portanto, ressalta-se, que a cana-energia com baixa quantidade de açúcar e aumento de fibra tem foco na produção de energia (RAMOS, 2015).

A matéria seca do gênero *Saccharum* spp., dentro do qual se encontram as variedades de cana, é composta por açúcares, com destaque para a sacarose, e por fibras, com celulose, hemicelulose e lignina (MATSUOKA, 2014). A pesquisa por variedades genéticas de cana com alto teor de fibras vem da busca dos pesquisadores em encontrar novas fontes de energia, tendo surgido há alguns anos o conceito da cana-energia (LEITE, 2008).

A cana pode começar a ser repensada como fonte de energia ao invés de alimento (LEAL, 2014). As culturas de cana são perenes e, enquanto as colheitas de cana-de-açúcar podem ocorrer em geral quatro vezes até um novo plantio, a cana-energia suporta em torno de sete colheitas até que o solo precise ser tratado novamente para receber um novo plantio (SALASSI, 2014). A cana-energia, que tem a fibra como principal constituinte, possui cerca de 30 % de fibra e 5 % de açúcar contra 12 % de fibra e 13 % de açúcar da cana-de-açúcar (COBILL, 2008).

Por apresentar alta produção de biomassa, a cana-energia é uma matéria-prima ideal para usinas de segunda geração, que utilizam processos bioquímicos ou termoquímicos. Dentre as tecnologias de conversão que mais se destacam está a pirólise, que consiste em um processo onde ocorre a decomposição térmica na ausência de oxigênio. É considerado um processo economicamente viável, versátil, produzindo subprodutos (combustíveis) com diversas características, biodiesel, carvão, metano e hidrogênio (BRAGA, 2012).

### **2.1.1.2 CAPACIDADE FOTOSSINTÉTICA**

A fotossíntese é o processo através do qual as plantas transformam a energia solar em energia química. As plantas são transformadoras primárias de energia solar e a sua eficiência é fator determinante na produtividade agrícola. A capacidade fotossintética, ou seja, o quanto de fotossíntese que a planta realiza, é determinada para cada espécie. No entanto, esse número é alterado ao longo do desenvolvimento da planta e seus diferentes estádios fenológicos. Como plântula, sua capacidade fotossintética é baixa, pois as folhas ainda não estão completamente desenvolvidas e, por isso, recebem menos luz solar. Além disso, os seus cloroplastos ainda não estão totalmente prontos para realizar o seu trabalho (BLUM et al., 1991).

Entre os fatores ambientais que mais influenciam na conversão de energia em açúcar na cultura da cana-de-açúcar pode-se citar a concentração de gás carbônico, temperatura, disponibilidade hídrica, disponibilidade nutrientes, entre outros fatores. A conversão de energia solar em energia à base de carbono implica em perda de água, e esta é consideravelmente maior que o ganho de C. Numa base molar, o gradiente de difusão do vapor de água para a atmosfera é mais intenso do que o gradiente de CO<sub>2</sub> da atmosfera para a folha (PUGNAIRE et al., 1993).

Conforme a planta envelhece, a capacidade fotossintética também diminui. Um pouco antes da folha senescer por completo, a capacidade fotossintética torna-se nula, pois os cloroplastos, e

consequentemente a clorofila, são destruídos durante o processo de envelhecimento compreender os fatores que afetam a fotossíntese durante o déficit hídrico pode ajudar no entendimento dos mecanismos de resistência utilizados pela planta em situações de déficit hídrico (LOPES et al. 1988).

As adaptações metabólicas, bioquímicas e fisiológicas ao estresse hídrico podem explicar como as plantas, com diferentes formas de realizar a fotossíntese, diferem com relação à sensibilidade a umidade da atmosfera e ao gradiente resultante da pressão de vapor de água da folha para o ar e essas adaptações estão associadas aos mecanismos que a planta possui para evitar a desidratação (PUGNAIRE et al., 1993).

Sob as condições edafoclimáticas onde possui baixa disponibilidade de água para o cultivo da cana-energia, torna-se importante a implantação de um sistema de irrigação adequado para suprir as necessidades hídricas, principalmente quando se pretende obter maiores índices de produtividade e melhor qualidade do produto sem depender do fator precipitação (DALRI; CRUZ, 2002). Porém, no cenário atual, existe a necessidade de buscar novas tecnologias sustentáveis e eficientes, que apresentem viabilidade técnica, econômica e ambiental.

Quanto maior a capacidade de uma planta em captar radiação solar, maior será a sua taxa fotossintética. Ambas são diretamente proporcionais, assim como a capacidade da planta em metabolizar açúcares, o que pode afetar sua produtividade. Fatores intrínsecos do clima, como temperatura, intensidade luminosa e umidade atuam durante o ciclo produtivo no metabolismo da cultura de cana-de-açúcar (planta C4), (BRUNINI, 2008). No entanto, consequentes aumentos gradativos da temperatura e restrição na disponibilidade hídrica evidentes nas últimas safras, estão reduzindo o processo de crescimento da cana-de-açúcar e produtividade das lavouras na região (IEA, 2015).

As características das variedades determinam a eficiência fotossintética da cana-de-açúcar, além da influência das variações climáticas que prevalecem durante todo o desenvolvimento. A disponibilidade de água e a temperatura são fatores que afetam muito o crescimento da cultura (BARBOSA, 2010).



### 2.1.1.3 TROCAS GASOSAS

As respostas das plantas frente ao déficit hídrico podem ser constatadas através de diversas variáveis, dentre as quais medições instantâneas de trocas gasosas entre a planta e a atmosfera, fazendo com que uma das primeiras respostas das plantas submetidas à deficiência hídrica seja o fechamento estomático, limitando a fixação de CO<sub>2</sub> e, por conseguinte, a produtividade da cultura (CARLESSO, 1995).

Entender a dinâmica dos processos fotossintéticos e hídricos da planta requer a compreensão do funcionamento dos estômatos, e como esse mecanismo pode influenciar no desenvolvimento da cana-energia. Fernandes (2012), conceitua os estômatos como estruturas que regulam as trocas gasosas entre a planta e o meio exterior, otimizando a fixação de CO<sub>2</sub> e mitigando as perdas de água por transpiração. NGUGI et al., (2004), ressaltam que a perda mínima de água através do fechamento dos estômatos e aumento da capacidade de captação hídrica pelo sistema radicular são mecanismos importantes para manter uma turgescência positiva, o crescimento e o desenvolvimento das plantas. É importante salientar que a condutância estomática representa uma variável de estado chave para prever o uso da água, fotossíntese líquida, a eficiência do uso da radiação e da produtividade primária líquida. (KATUL et al. 2000).

O decréscimo na disponibilidade de água no solo ocasiona queda no potencial da água nas folhas das plantas, levando à perda de turgescência e à redução da condutância estomática (SHALHEVET, 1983). A redução da taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> durante o estresse hídrico deve-se à redução na disponibilidade de CO<sub>2</sub> no interior da folha, causada pelo fechamento dos estômatos em resposta à redução da disponibilidade de água no solo (ROSA et al., 1991). Esse aumento da resistência à difusão gasosa e a diminuição na taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> determina menor perda de água por transpiração, além de poder afetar a fotossíntese. De acordo com GHOLZ et al. (1990), a disponibilidade de água afeta o crescimento das plantas, por controlar a abertura dos estômatos e, conseqüentemente, a produção de fitomassa. O fechamento dos estômatos bloqueia o fluxo de CO<sub>2</sub> para as folhas, afetando o acúmulo de fotoassimilados, o que pode reduzir a produtividade.

#### 2.1.1.4 PIGMENTOS FOTOSSÍNTÉTICOS

As clorofilas são pigmentos que refletem a cor verde e estão diretamente associadas com o potencial da atividade fotossintética. A alta eficiência fotossintética pode levar ao incremento de produtividade agrícola, e essa relação está diretamente relacionada com o aproveitamento da radiação disponível por esses pigmentos. As elevadas produtividades obtidas com as gramíneas tropicais (C4) são resultados de elevada eficiência fotossintética conjugada a ambientes favoráveis (BERNARDES, 1987).

A clorofila *a* é utilizada para realizar a fotoquímica, ou seja, o estágio inicial do processo fotossintético. Já os demais pigmentos ajudam na absorção e transferência de energia radiante para os centros de reação, sendo chamados de pigmentos acessórios. O principal acessório é a clorofila *b* que está presente em plantas superiores, algas e certas bactérias (TAIZ & ZIEGER, 2009).

O estresse por seca é normalmente caracterizado por perda de clorofila e um declínio progressivo na capacidade fotossintética das plantas. O que leva a análise dos pigmentos fotossintéticos a ser uma importante ferramenta para avaliação da sanidade e integridade dos aparatos internos da célula durante o processo de fotossíntese (RONG-HUA et al., 2006).

#### 2.1.1.5 MÁXIMA EFICIÊNCIA FOTOQUÍMICA DO FOTOSISTEMA II ( $F_v/F_m$ )

O mecanismo pelo qual a energia de excitação é passada da clorofila que absorve a luz para o centro de reação, é conhecido como transferência por ressonância induzida. Não se trata de uma reemissão de fótons, mas de uma transferência de energia de excitação de molécula para molécula por um processo não radioativo. O resultado final é que 95 a 99% de fótons absorvidos pelos pigmentos antena são transferidos para os centros de reação, onde podem ser usados na reação fotoquímica (ZANANDREA et al., 2006).

A luz é absorvida nos centros de reação de duas unidades conhecidas como fotossistemas. O centro de reação de uma dessas unidades absorve preferencialmente a luz de comprimento de onda maior que 680 nm, precisamente em 700 nm, sendo denominada de fotossistema I (P700). A outra unidade absorve a luz preferencialmente em 680 nm, sendo chamada de fotossistema II (P680). (BARBAGALLO et al., 2003).

A quantidade (densidade de fluxo de fótons) e qualidade (comprimento de onda) da luz, absorvidas através de fotoreceptores, são de extrema importância para o crescimento e desenvolvimento das plantas, podendo modificar características do desenvolvimento foliar, como espessura da folha, diferenciação do mesófilo, desenvolvimento vascular, divisão celular e desenvolvimento dos estômatos (HAZARIKA, 2006).

Altas intensidades luminosas podem saturar o transporte de elétrons no fotossistema II em função da oxidação relativamente lenta da plastoquinona pelo complexo citocromo b6/f. O excesso de energia de excitação absorvida pelos centros de reação pode ser dissipado através do transporte de elétrons na cadeia fotossintética para o oxigênio molecular, gerando a produção de espécies reativas de oxigênio, tais como superóxidos, oxigênio singlet e peróxidos, induzindo fotoinibição e fotodegradação dos fotossistemas (STRIZH et al., 2005).

As características relacionadas à capacidade de absorção e transferência da energia luminosa na cadeia de transporte de elétrons podem ser obtidas através da análise da cinética de emissão da fluorescência das clorofilas, possibilitando estudos das mudanças conformacionais dos tilacóides e uma ampliação no conhecimento dos processos fotoquímicos e não fotoquímicos que ocorrem nos grana dos cloroplastos (OUZONIDOU & ILIAS, 2005).

Além disso, por ser um método sensível e não destrutivo, possibilita a obtenção de informações rápidas sobre os processos relacionados ao aparato fotossintético e, conseqüentemente, do estado fisiológico dos vegetais, tendo tornando-se uma importante ferramenta na investigação da fisiologia básica e aplicada (SAQUET & STREIFT, 2002;), permitindo também a efetiva avaliação de estresses.

#### **2.1.1.6 TEOR RELATIVO DE ÁGUA E POTENCIAL HÍDRICO NA FOLHA**

O conteúdo hídrico da planta está diretamente relacionado com o controle das funções fisiológicas e as alterações no teor relativo de água afetam o aparato fotossintético, interferindo na taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>. O teor relativo de água é uma referência das condições hídricas nas plantas, particularmente durante períodos de seca e estiagem na cultura da cana-de-açúcar, indicando o conteúdo de água presente nas folhas, e à medida que se intensifica o déficit hídrico, a planta passa por uma desidratação do protoplasma, o que pode prejudicar os processos vitais de crescimento celular. Esse mecanismo promove o aumento do extravasamento de eletrólitos (EE) que pode ser intensificado pelo déficit hídrico. Deste modo, resulta em um aumento da fluidez das

membranas, o que pode levar a uma fuga de eletrólitos dos compartimentos celulares, comprometendo os processos vitais de funcionamento celular (LANGARO, 2014).

VAZZANA (2003) avaliou o TRA e a taxa fotossintética de cultivares de cana-energia e constataram que a cultivar tolerante apresentou maior atividade fotossintética em comparação à cultivar sensível, quando submetidas ao déficit hídrico. Não sendo raro observar que redução de aproximadamente 25% no TRA ocasiona repressão em todo o aparato fotossintético.

GRAÇA (2009) observou variação no TRA entre as cultivares de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica, onde a cv CTC15 manteve maior TRA em quase todas as avaliações, sendo que na média houve redução do TRA para 60% em torno do 10º dia sob déficit hídrico para as cv SP83 2847 e cv SP 86 155 e para 70% para a cv CTC15. SCHLEMMER et al. (2012), em estudo com cana-de-açúcar, observaram que apenas três dias de deficiência hídrica foram suficientes para reduzir o TRA para 65%.

A água é um elemento de suma importância na vida da planta. Ela corresponde de 80 a 95% da massa dos tecidos em crescimento. É neste ambiente líquido que as reações metabólicas ocorrem, com a água sendo reagente ou produto de muitas destas reações. A alta capacidade da água de absorver calor (alto calor específico) contribui para que as plantas não sofram tanto com as flutuações de temperatura do ambiente. É também o solvente em que os nutrientes minerais penetram nas raízes e são transportados através da planta e em que os fotoassimilados e outros compostos orgânicos são translocados (DARLI & CRUZ, 2008).

A entrada de água na célula é responsável pela manutenção da turgescência e, portanto, do crescimento e, também, pela forma e estrutura dos tecidos que não possuem rigidez. Isto torna de grande importância a prática da irrigação, principalmente nas regiões de climas árido e semiárido. A produtividade dos agroecossistemas depende primariamente da disponibilidade de água, desta forma, o entendimento dos mecanismos de absorção, transporte e perda de água pelas plantas tornam-se muito importante para a produtividade agrícola, em diferentes culturas (GASCHO, 1985).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Campus de Engenharias e Ciências Agrárias (CECA), da Universidade Federal de Alagoas, no município de Rio Largo, Estado de Alagoas (09°28'02"S; 35°49'43"W e 127 m de altitude).



**Figura 4.** Área experimental do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Alagoas.

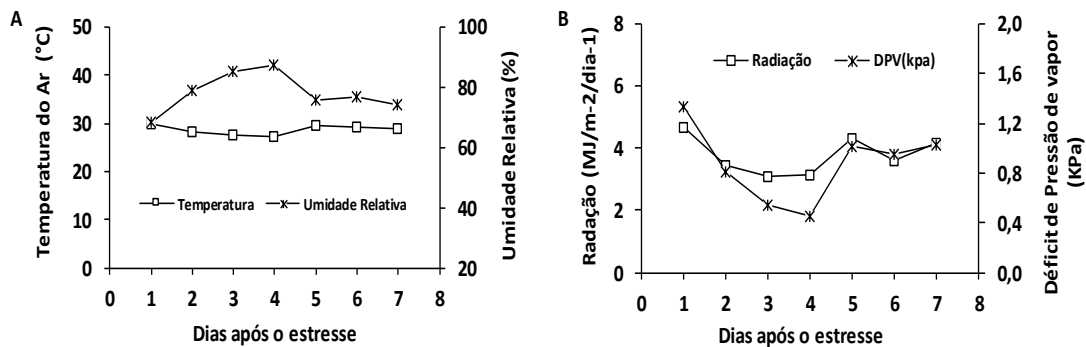
#### 3.2 MATERIAL VEGETAL E CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS

O material utilizado constitui de um genótipo de cana-de-açúcar (RB92579) e dois genótipos de cana-energia (RB11999 e RB0442). O material vegetal foi doado pelo Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-açúcar (PMGCA), da Universidade Federal de Alagoas. Três toletes foram cultivados em vasos de vinte litros, preenchidos com terra tipo latossolo peneirado e adubado conforme necessidade mostrada na análise química do mesmo. Três plântulas emergiram

por vaso, este procedimento foi realizado de modo que todos os perfis fossem na mesma condição homogênea. Logo após foi realizado o desbaste deixando apenas uma planta por vaso.

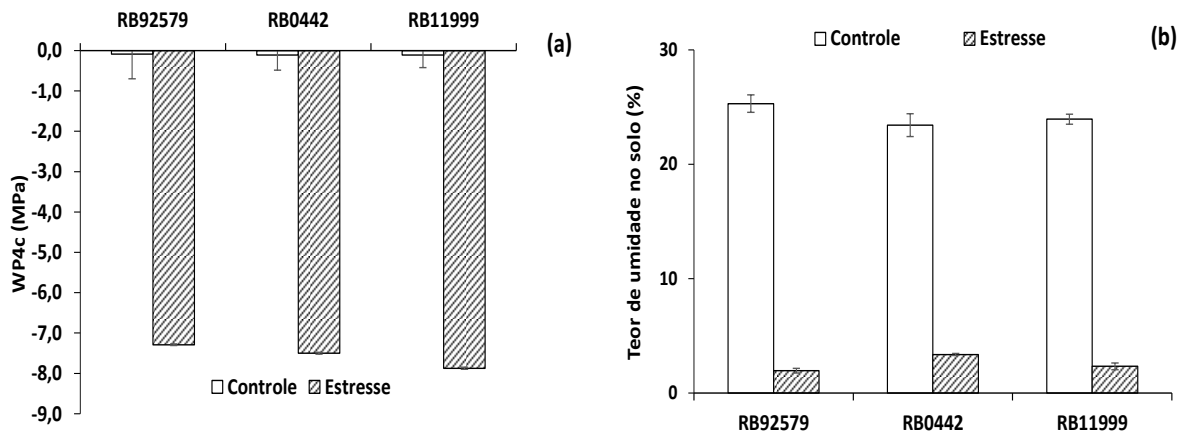
O delineamento experimental foi conduzido em blocos casualizados, em esquema fatorial 3x2, sendo os fatores: três genótipos, dois regimes hídricos (sem deficiência = C, e com deficiência = +D), com seis repetições.

Com 137 dias após plantio, as plantas foram submetidas a estresse hídrico por cinco dias, até atingir o estresse máximo, quando a fotossíntese das plantas reduziu a valores médios inferiores a  $5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . As condições ambientais foram monitoradas por uma estação meteorológica automática modelo WS - GP1 (DELTA-T Devices, Cambridge - England), localizada dentro da casa de vegetação (Figura 5).



**Figura 5.** Médias diárias de temperatura e umidade do ar (A), radiação solar e déficit de pressão de vapor (DPV) (B), registrados durante o período de suspensão hídrica.

A umidade do solo de cada vaso foi analisada durante todo o período de estresse hídrico, a profundidade de 5 cm, por meio de um sensor de umidade modelo SM200. Foram coletadas amostras de solo, para analisar o potencial hídrico do solo nos tratamentos submetidos a estresse hídrico, através do equipamento WP4C (DewpointPotentia Meter) da Decagon Device. (Figura 6).



**Figura 6.** Umidade do solo durante todo o período de estresse hídrico, leituras da umidade do solo por vaso, Mpa (a) e teor de umidade no solo % (b).

### 3.3 AVALIAÇÕES FISIOLÓGICAS

No período de estresse hídrico foram realizadas as seguintes avaliações fisiológicas: trocas gasosas, máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fm), índice SPAD, teor relativo de água na folha e potencial hídrico da folha.

As medidas de trocas gasosas foram realizadas com um analisador portátil de CO<sub>2</sub> de infravermelho (IRGA InfraredGasAnalyzer), modelo Li-6400 (Li-Cor, Biosciences Inc., Nebraska, EUA). Foram avaliadas as seguintes variáveis: taxa de fotossíntese (A), transpiração (E), condutância estomática (gs) e concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci).

A máxima eficiência fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fm) foi determinada por meio de um fluorômetro portátil (Opti-Sciences, Inc., Hudson, NH, EUA) após adaptar as folhas ao escuro por 30 minutos utilizando-se cliques foliares. O rendimento quântico efetivo do PSII ( $\Phi$ PSII) foi determinado às 12:00 horas da manhã sob luz ambiente.

O índice SPAD foi mensurado utilizando-se um clorofilômetro portátil modelo SPAD- 502, sendo aferidas três leituras na folha +1 (SILVA et al., 2013).

O teor relativo de água foi quantificado extraindo-se seis discos de 6 mm da folha +1. Primeiramente foi determinada a massa do tecido fresco dos discos em balança analítica. Posteriormente, os respectivos discos foram reidratados usando água deionizada (Milli-Q, Millipore) por 24 h em ausência de luz, transcorrido esse tempo foi retirado o excesso de água com lenço de papel, e determinada a massa do tecido túrgido. A massa do tecido seco foi obtida depois que os discos foram secos em estufa de circulação forçada de ar a 70°C. O TRA foi calculado

conforme Barrs; Weatherley (1962):  $TRA = [(MF - MS) / (MT - MS)] \times 100$ ; em que: MF corresponde a massa do tecido fresco, MT a massa do tecido túrgido, e MS a massa do tecido seco. Em seguida, os valores foram substituídos na fórmula:  $TRA = [(Mf - Ms) \times (Mt - Ms)^{-1}] \times 100$ .

O potencial hídrico da folha ( $\Psi_w$ ) foi determinado às 12:00h, na folha +1, usando uma câmara de pressão Scholander. (mod. PMS Instrument Co., Corvales, USA).

### 3.4. AVALIAÇÕES BIOQUÍMICAS

#### 3.4.1. PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS

Os teores de clorofila a, b, totais e carotenoides foram determinados com a coleta de um disco foliar de 1 cm de diâmetro da folha +1. Em seguida foram pesados cerca de 50mg de cada amostra da folha, colocados em 10 mL de acetona a 80%, tubos de vidro rosqueado, protegidos da luz com papel alumínio durante 24 horas com agitações ocasionais. A absorvância do extrato foi quantificada em espectrofotômetro (Thermo Scientific®, Genesys 10S, EUA) em 480, 645, 663 nm. Os teores de clorofila a, b, total foram estimados pelas fórmulas:

$$\text{Clorofila a} = \frac{(12,7 \times A_{663} - 2,69 \times A_{645}) \times V}{MF} \quad (\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{MF})$$

$$\text{Clorofila b} = \frac{(22,9 \times A_{645} - 4,68 \times A_{663}) \times V}{MF} \quad (\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{MF})$$

$$\text{Clorofila total} = \frac{(8,02 \times A_{663} + 20,2 \times A_{645}) \times V}{MF} \quad (\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{MF})$$

Onde:

$A_{663}$  e  $A_{645}$  = são as absorvâncias em 663 e 645 nm, respectivamente;

V = volume de acetona a 80% utilizado na extração. (Colocar o volume em litros)

MF = peso de matéria fresca.

### 3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados foram submetidos à análise de variância (Teste F) e às médias obtidas foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

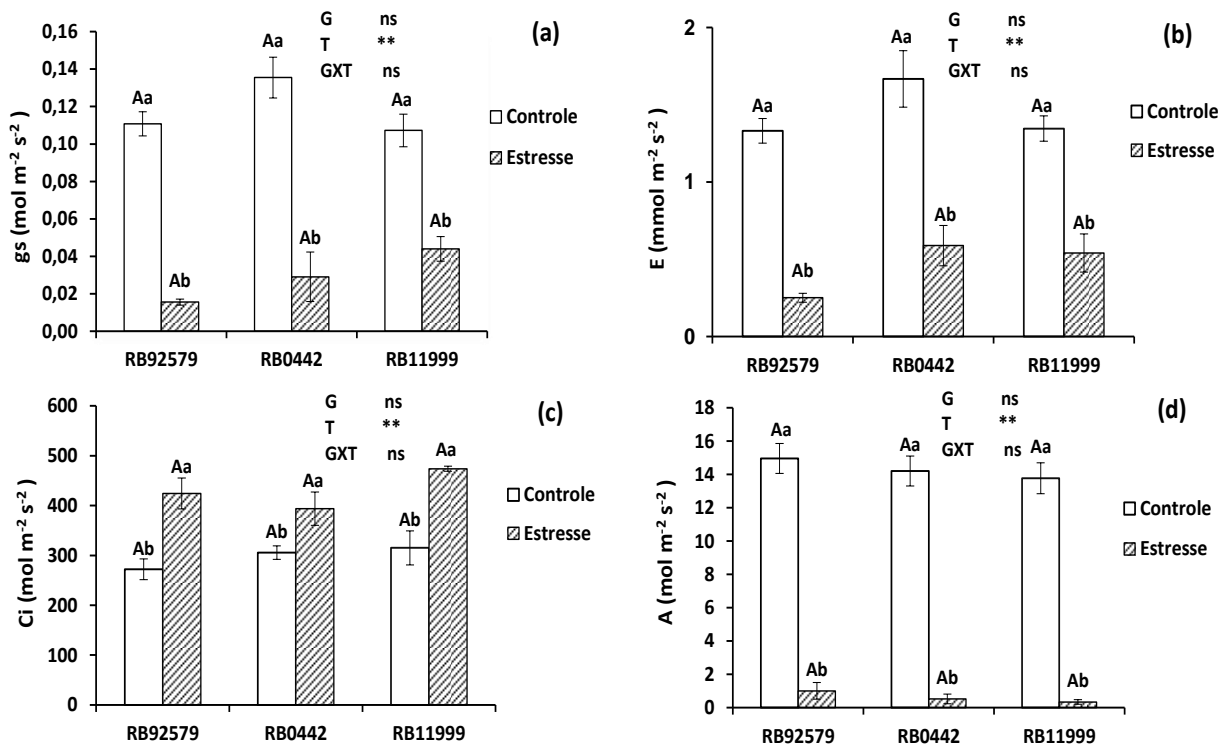


#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A deficiência hídrica causou maiores reduções no genótipo RB92579 nas variáveis condutância estomática e nas taxas de transpiração, com reduções de 85,92% e 81,09% respectivamente quando comparado ao controle (Figura 7a e 7b) seguido do genótipo RB0442 que apresentou redução de 78,52% e 64,67%, respectivamente para as mesmas variáveis (Figura 7a e 7b), já no genótipo RB11999 essas reduções foram menores de 58,99% para a condutância estomática e de 59,79% para a transpiração (Figura 7a e 7b), o que sugere que o genótipo RB11999 mantém os estômatos parcialmente abertos por mais tempo o que pode ter reduzido a eficiência do uso da água nessas plantas.

A deficiência hídrica é uma importante restrição ambiental que influencia todos os processos fisiológicos envolvidos no crescimento e desenvolvimento das plantas. Esta influência seria um conjunto de respostas à seca que afeta principalmente o mecanismo de trocas gasosas (LAWLOR & TEZARA, 2009; CENTRITTO et al., 2009).

A relação direta entre transpiração e condutância estomática é esperada, tendo em vista a diminuição do fluxo de vapor d'água para a atmosfera e, conseqüentemente, da transpiração, na medida em que se fecham os estômatos (GONÇALVES et al., 2010).



**Figura 7.** Condutância estomática (a), transpiração (b), concentração interna de CO<sub>2</sub> (c), fotossíntese (d), em genótipos de cana-de-açúcar e cana-energia sob deficiência hídrica. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre genótipos em cada tratamento hídrico e letras minúsculas indicam diferenças significativas entre tratamentos hídricos em cada genótipo pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Por outro lado, o fechamento dos estômatos durante a deficiência hídrica aumentou a concentração intercelular de CO<sub>2</sub>, os genótipos RB92579, RB0442 e RB11999 apresentaram aumento de Ci de 64,15%, 77,06% e 66,51% ao mesmo tempo que em que a taxa de fotossíntese diminuiu (Figura 7c).

A taxa de fotossíntese (A) apresentou uma diminuição significativa em todos os genótipos submetidos ao estresse hídrico (Figura 7d). Nas plantas sob estresse a redução de A no genótipo RB92579 foi de 93,31%, sendo maiores reduções de A nos genótipos RB0442 com redução de 96,35% em RB 11999 com redução de 97,60% (Figura 7d), demonstrando que a taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> foi fortemente afetada pela deficiência hídrica.

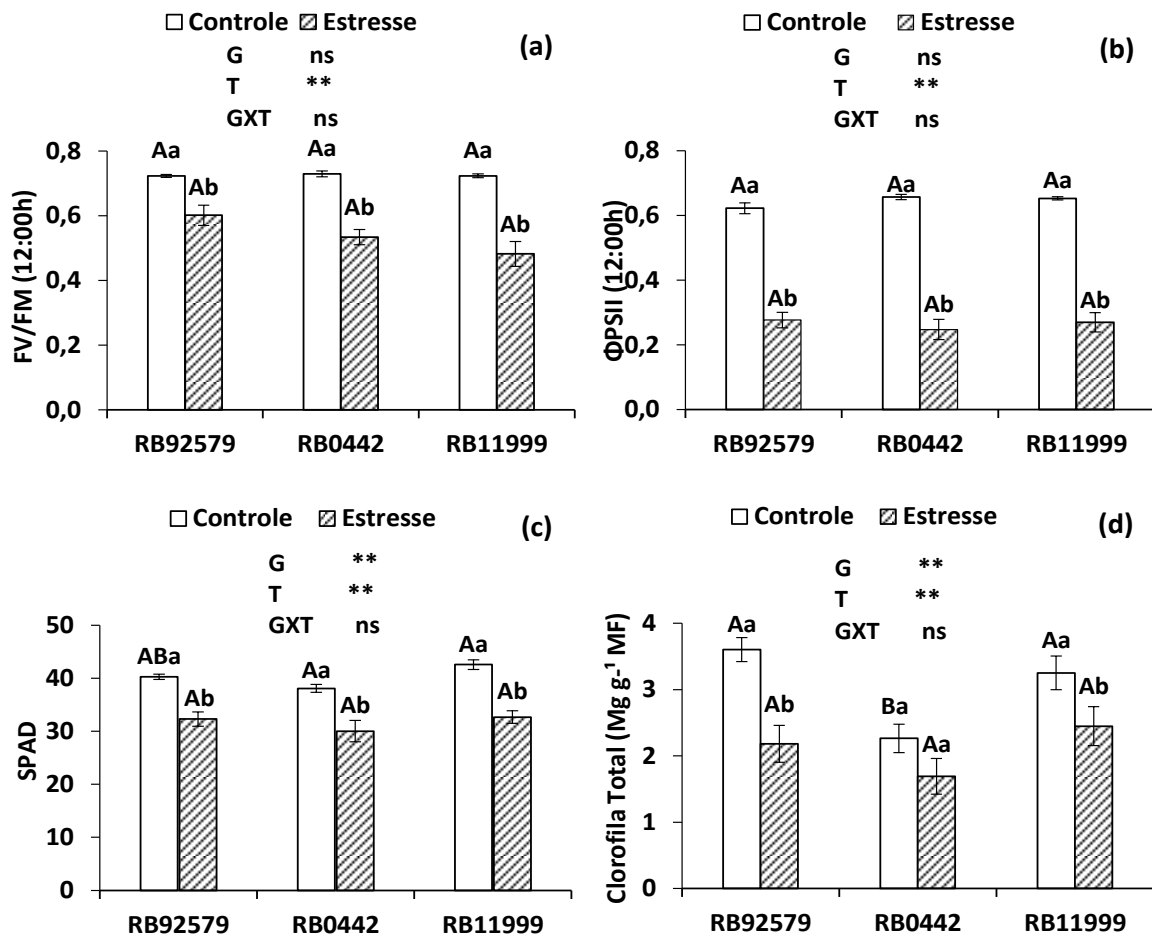
Em diferentes estudos em cana-de-açúcar também foram constatados maior redução da fotossíntese, condutância estomática e transpiração em plantas submetidas a deficiência hídrica,

sendo mais expressos em plantas sensíveis (SILVA & COSTA, 2009; GONÇALVES et al., 2010; GRAÇA et al., 2010 e SILVA et al., 2013).

Todos os genótipos apresentaram reduções na eficiência fotoquímica máxima (FV/FM) e na eficiência fotoquímica efetiva ( $\Phi$ PSII), sob estresse hídrico (Figura 8). O genótipo RB92579 apresentou menor redução na razão Fv/Fm com valores médios de 0,60 no período de estresse hídrico (Figura 8a), sugerindo que os fotodanos foram menores ocasionadas pelo estresse hídrico. No genótipo RB0442 apresentou valor médio de 0,53 no período de restrição hídrica, já a RB11999 foi mais afetada pela restrição hídrica com valores médios de Fv/Fm 0,48 (Figura 8a), o que sugere a maior sensibilidade a seca desse genótipo a deficiência hídrica. Em trabalhos realizados com diferentes cultivares de cana-de-açúcar sob deficiência hídrica, também foi observado a diminuição da relação Fv/Fm nas cultivares consideradas mais sensíveis ao estresse hídrico (GRAÇA et al., 2010; SILVA et al., 2014; SANTOS et al., 2015).

Na análise da eficiência quântica efetiva do fotossistema II (YII) todos os genótipos apresentaram reduções de forma semelhante com valores médios de YII próximo a 0,27 no período de suspensão (Figura 8b), Segundo Maxwell e Johnson, (2000), reduções na  $\Phi$ PSII é um índice fisiológico indicado para se avaliar a eficiência in vivo do fotossistema II, indicando, nesse caso, uma baixa proporção de energia absorvida.

Em relação ao índice de clorofila SPAD, verificou-se que os genótipos RB 11999 e RB92579 apresentaram sob estresse, reduções de 23,25% e 19,78% de índice SPAD, respectivamente quando comparado ao controle (Figura 8c), enquanto o genótipo RB0442 apresentou uma redução de 21,16%, sob estresse (Figura 8c), sendo a maior redução de clorofila estimada no genótipo RB 11999 é um indicativo de sensibilidade à seca. Esses resultados corroboram com os de Pincelli (2010) que observaram maiores reduções de índice SPAD em genótipos de cana-de-açúcar mais sensíveis à deficiência hídrica. De acordo com os autores, a cana-de-açúcar sem suplementação hídrica apresenta menores teores de clorofila em seus tecidos foliares, entretanto, respostas diferenciadas estão em função de cultivares

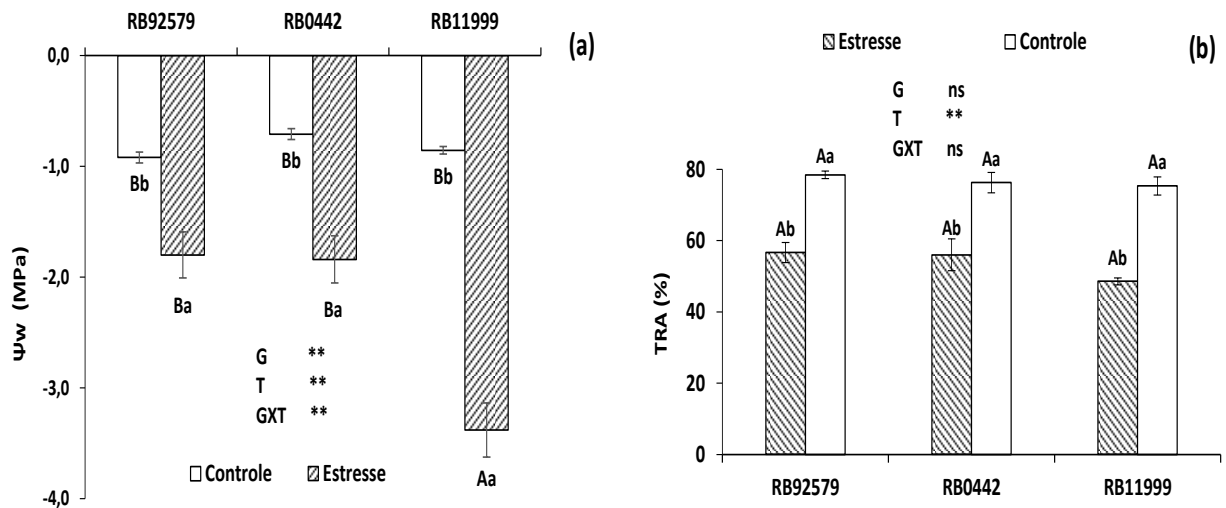


**Figura 8.** Eficiência fotoquímica primária do fotossistema II - Fv/Fo ao meio dia (a); eficiência quântica efetiva do fotossistema II,  $\Phi$ PSII (b); conteúdo estimado de clorofila - SPAD (c) e Clorofila Total (d), em genótipos de cana-de-açúcar e cana-energia sob deficiência hídrica. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre genótipos em cada tratamento hídrico e letras minúsculas indicam diferenças significativas entre tratamentos hídricos em cada genótipo pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Os genótipos RB92579 e RB0442 apresentaram reduções de 39,50% e 25,22%, na clorofila total, respectivamente, enquanto o genótipo RB11999 apresentou redução de 24,72%, sob deficiência hídrica (Figura 8d). A degradação da clorofila é uma das consequências ao estresse que pode ser o resultado da fotoinibição e diminuição da eficiência fotossintética entre outros processos celulares, como a divisão e expansão celular (LONG et al., 1994).

Quanto ao potencial da água na folha ( $\Psi_w$ ) inicialmente registrou-se valores médios para RB11999 de -0,88 MPa (Figura 9a). Foram observadas no período de supressão hídrica diferenças significativas entre as plantas irrigadas e não-irrigadas, apresentando redução no genótipo RB11999 que alcançou valor de -3,38 Mpa, portanto significativamente mais afetada pela deficiência hídrica, enquanto o genótipo RB92579 e RB0442 atingiu -1,80 e -1,84 Mpa, respectivamente, no período de supressão hídrica (Figura 9a).

O genótipo RB11999 apresentou um decréscimo de 35,53% no teor relativo de água na folha quando submetido ao estresse, entretanto, no genótipo RB0442 o decréscimo foi de 26,58% e na RB92579 verificou-se um decréscimo de 27,73% neste período (Figura 9b). Segundo SILVA et al. (2007), TRA na folha é um indicador chave do grau de hidratação da célula e tecidos vegetais, o qual é crucial para ótimo funcionamento dos processos fisiológicos e de crescimento. E a manutenção de relativamente alto valor de TRA durante a deficiência hídrica é um indicativo de tolerância (VAZZANA, 2003)



**Figura 9.** Potencial hídrico da folha ao meio dia (a), e teor relativo de água na folha (b) em genótipos de cana-de-açúcar e cana-energia sob deficiência hídrica. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre genótipos em cada tratamento hídrico e letras minúsculas indicam diferenças significativas entre tratamentos hídricos em cada genótipo pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

O estresse hídrico influencia negativamente no TRA, e cultivares de cana-de-açúcar que reduzem o TRA possuem indicativo de sensibilidade à seca (SILVA et al., 2013; MEDEIROS et al., 2013). Portanto, alterações no  $\Psi_w$  e no TRA têm sido eficientes para selecionar plantas quanto à tolerância ao estresse (SILVA et al., 2007; PUTEH et al., 2013; CANAVAR et al., 2014).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A deficiência hídrica no solo causou fortes danos fisiológicos em todos os genótipos estudados, destacando-se o genótipo RB1199 que apresenta características fisiológicas de maior susceptibilidade à seca, como a intensa redução de fotossíntese ( $A$ ), Eficiência fotoquímica máxima do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), teor relativo de água na folha e potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ).

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BACCHI, O. O. S. Ecofisiologia da Cana-de-Açúcar. Piracicaba: **IAA/PLANALSUCAR**, 1985. 20 p.
- BARBAGALLO, R.P.; OXBOROUGH, K.; PALLETT, K.E. Rapid, noninvasive screening for perturbation of metabolism and plant using chlorophyll fluorescence imaging. **Plant Physiology**, v.132, p.485-493, 2003.
- BARBOSA, F. S. Resistência á seca em cana-de-açúcar para diferentes níveis de disponibilidade hídrica no solo. 2010. 81 f. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, ESALQ, Piracicaba, 2010.
- BARRS, H. D., WEATHERLEY, P. E. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. **Australian Journal of Biological Sciences**, v. 15, p. 413–428, 1962.
- BERNARDES, M. S. Fotossíntese no dossel das plantas cultivadas. In: CASTRO, P. R. C. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: POTAFOS, 1987. p. 13-48.
- BLUM, A.; JOHNSON, J.W.; RAMSEUR, E.L. The effect of a drying top soil and a possible non-hydraulic root signal on wheat growth and yield. **Journal of Experimental Botany**, Oxon, v.42, n.243, p.1225-1231, 1991.
- BRAGA, Renata Martins. Pirólise rápida catalítica do capim elefante utilizando materiais mesoporosos e óxidos metálicos para deoxigenação em bio-óleo. 2012. 46 f. **Tese** (Doutorado em Pesquisa e Desenvolvimento em Ciência e Engenharia de Petróleo) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.
- BROSSE, N.; MOHAMAD IBRAHIM, M. N.; ABDUL RAHIM, A. Biomass to bioethanol: Initiatives of the future for lignin. **International Scholarly Research Network Materials Science**, v. 2011, 2011.
- BRUNINI, O. Ambientes climáticos e exploração agrícola da cana-de-açúcar. In: DINARDOMIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A.C M. de; ANDRADE LANDELL, M. G. DE. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, p.205-218, 2008.
- CANAVAR, O., GÖTZ, K., ELLMER, F., CHMIELEWSKI, F., KAYNAK, M. A. Determination of the relationship between water use efficiency, carbon isotope discrimination and proline in sunflower genotypes under drought stress. **Australian Journal of Crop Science**, v. 8, n. 2, p. 232-242, 2014.
- CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: água disponível versus extrível e a produtividade das culturas. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.25, n.1, p.183-188, 1995.

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

CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R. A. (Eds.). Ecofisiologia de culturas extrativas. Cana-de-açúcar, seringueira, coqueiro, dendezeiro e oliveira. **Cosmópolis: Stoller do Brasil**, 2001. 138p.

CENTRITTO, M.; LAUTERI, M.; MONTEVERDI, M.C; SERRAJ, R. Leaf gas Exchange, carbono isotope discrimination, and grain yield in contrasting rice genotypes subjected to water deficits during the reproductive stage, **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.60, p. 2325-2339, 2009.

COBILL, R.M. Genetic Improvement of Sugarcane (*Saccharum* spp.) as an Energy Crop. In: VERMERRIS, W. **Genetic Improvement of Bioenergy Crops**. Springer New York, 2008. p. 249-272.

COLOM, M. R.; VAZZANA, C. Photosynthesis and PSII functionality of droughtresistant and drought sensitive weeping lovegrass plants. **Environmental and Experimental Botany**, Paris, v. 49, n. 2, p. 135-144, 2003.

COOMBS, J. 1984. Sugar-cane as an energy crop. **Biotechnology and Genetic Engineering Reviews** n.1:311-345.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Safra 2020-2021. **Terceiro o Levantamento (Dezembro de 2020)**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br> Acesso: Abril de 2021.

DALRI, A.B.; CRUZ, R.L. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. **Engenharia Agrícola**, v.28, p.516-524, 2008.

ENDRES, L. et al. Photosynthesis and water relations in Brazilian sugarcane. **The Open Agriculture Journal**, v.4, p.31-37, 2010.

FARIAS, C.H. de A.; FERNANDES, P.D.; DANTAS NETO, J.; GHEYI, H.R. Eficiência no uso da água na cana-de-açúcar sob diferentes lâminas de irrigação e níveis de zinco no litoral paraibano. **Engenharia Agrícola**, v.28, p.494-506, 2008.

FERNANDES, H. Manual da fisiologia de plantas tropicais. **Editora Kogan**. v.2, 234p, 2012.

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

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

GHOLZ., H.L.; EWEL, K.C.; TESKEY, R.O. Water and forest productivity. **Forest Ecological Management, Amsterdam**, v.30, n.1, p.1-18, 1990.



- GONÇALVES, E. R. et al. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n.4, p.378-386, 2010.
- GRAÇA, J. P. Avaliação de parâmetros fisiológicos em cultivares de cana-de-açúcar submetidas ao déficit hídrico. 2009. 52f. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia – Genética e Melhoramento de Plantas) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.
- GRAÇA, J. P., RODRIGUES, F. A., FARIAS, J. R. B., OLIVEIRA, M. C. N. D., HOFFMANN-CAMPO, C. B.; ZINGARETTI, S. M. Physiological parameters in sugarcane cultivars submitted to water deficit. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 22, n.3, p. 189-197, 2010.
- HAZARIKA, B.N. Morpho-physiological disorders in in vitro culture of plants. **Scientia Horticulturae**, v.106, p.105-120, 2006.
- HILL, J.; NELSON, E.; TILMAN, D.; POLASKY, S.; TIFFANY, D. 2006. Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. **Proceedings of the National Academy of Science** 103(43):11206-11210.
- HOLANDA, L. A. D.; SANTOS, C. M.; NETO, S.; DANTAS, G.; SOUSA, A. D. P.; SILVA, M. D. A. Variáveis morfológicas da cana-de-açúcar em função do regime hídrico durante o desenvolvimento inicial. **Irriga**, p. 573-584, 2015.
- INMAN-BAMBER, N.G.; LAKSHMANAN P.; PARK S. Sugarcane for water-limited environments: theoretical assessment of suitable traits. **Field Crops Research**, v.134, p.95–104, 2012.
- IEA - Instituto de Economia Agrícola. Banco de dados. São Paulo: **IEA**. <http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=13601>. 20 Mai. 2015. Acesso em 10 de abril de 2021.
- INMAN-BAMBER, N.G.; SMITH, D.M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, v.92, p.185-202, 2005.
- KATUL, G.G.; CUENCA, R.H.; GREBET, P.; WRIGHT, J.L.; PRUITT, W.O. Analysis of evaporative flux data for various climates. **Corvallis: Oregon State University**, 2000. 19p. Part of Katul, G.G. M.Sc. thesis.
- KEATING, B. A.; ROBERTSON, M. J.; MUCHOW, R. C.; HUTH, N. I. Modelling sugarcane production systems I. Development and performance of the sugarcane module. **Field Crops Research**, v.61, n.3, p.253-271, 1999.
- LANGARO, A. C. Alterações fisiológicas na cultura do tomateiro devido à deriva simulada de herbicidas. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Londrina, v. 13, n. 1, p. 40-46, jan./abr. 2014.

- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa Artes e Textos, 2004, 531p
- LAWLOR, D.W.; TEZARA, W. Causes of decreased photosynthetic rate and metabolic capacity in water-deficient leaf cells: a critical evaluation of mechanisms and integration of processes. **Annals of Botany**, v.103, p.561-579, 2009.
- LEAL, M. L. R. V. Energy cane. In: CORTEZ, L. A. B. (Coord.). **Sugarcane bioethanol — R&D for productivity and sustainability**, São Paulo: Edgard Blücher, 2014. p.751-760
- LEÃO, R.M. Álcool energia verde. São Paulo. **Igual Editora**.
- LECOEUR, J.; SINCLAIR, R.T. Field pea transpiration and leaf growth in response to soil water deficits. **Crop Science, Madison**, v.36, p.331-335, 1996.
- LONG, S. P.; HUMPHRIES, S.; FALKOWSKI, P. G. Photoinhibition of photosynthesis in nature. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.45, p.633-662, 1994.
- LEITE, R. C. C. Fotossíntese e cana-energia. **Ciência e Cultura**, v. 60, n. 3, p. 4-6, 2008.
- LOPES, B.F.; SETER, T.L.; McDAVID, C.R. Photosynthesis and water vapor exchange of pigeonpea leaves in response to water deficit and recovery. **Crop Science, Madison**, v.28, p.141-145, 1988.
- LOUREIRO, M.E. et al. Sugarcane Breeding and Selection for more Efficient Biomass Conversion in Cellulosic Ethanol. In: **Buckeridge MS, Goldman GH (ed) Routes to Cellulosic Ethanol. Springer**, New York, pp 199-239, 2011.
- MACEDO, I. C. Impactos no uso de materiais. In: MACEDO, I. C. (Org.) A energia da cana-de-açúcar: Doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade. **2 ed. São Paulo : Berlendis & Vertecchia : UNICA – União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo**, 2005. p. 67-90.
- MACHADO, R.S.; RIBEIRO, R.V.; MARCHIORI, P.E.R.; MACHADO, D.F.S.P.; MACHADO, E.C.; LANDELL, M.G. de A. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.1575-1582, 2009.
- MAGRO, F.J.; TAKAO, G.; CAMARGO, P.E.; TAKAMATSU, S.Y. **Biometria em cana-de-açúcar**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, SP. Jun. 2011.
- MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 2. ed. atual. e aum. Viçosa: UFV, 2005. 355 p.
- MATSUOKA, S. et al. Energy cane: Its concept, development, characteristics, and prospects. **Advances in Botany**, v. 2014, 2014.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence: a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, n. 345, p. 659-668, 2000.

MEDEIROS, D. B.; SILVA, E. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; TEIXEIRA, M. M.; BUCKERIDGE, M. S. Physiological limitations in two sugarcane varieties under water suppression and after recovering. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 25, n. 3, p. 213-222, 2013.

NGUGI, M.R. NGUGI, M. R. et al. Physiological responses to water stress in *Eucalyptus cloeziana* and *E. argophloia* seedlings. **Trees**, v. 18, n. 4, p. 381-389, 2004.

OMETTO, A.R. Discussão sobre os fatores ambientais impactados pelo setor sucroalcooleiro e a certificação socioambiental. São Carlos, SP. **Dissertação** (Mestrado). Universidade de São Paulo. 2000.

OUZONIDOU, G; ILIAS, I. Hormone-induced protection of sunflower photosynthetic apparatus against copper toxicity. **Biologia Plantarum**, v.49, p.223-228, 2005.

PERES, J. G.; **Determinação dos coeficientes de cultura (Kc): ciclo de cana soca**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1988.

PINCELLI, R. P. Tolerância à deficiência hídrica em cultivares de cana-de-açúcar avaliada por meio de variáveis morfofisiológicas. 2010. 65 f. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia)- Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2010.

PUGNAIRE, F.I.; ENDOLZ, L.S.; PARDOS, J. Constrains by water stress on plant growth. In: PESSARAKLI, P. **Handbook of plant and crop stress**. New York: Marcel Dekker, 1993. p. 247-259.

PUTEH, A. B., SARAGIH, A. A., ISMAIL, M. R., MONDAL, M. M. A. Chlorophyll fluorescence parameters of cultivated (*Oryza sativa* L. ssp. indica) and weedy rice (*Oryza sativa* L. var. nivara) genotypes under water stress. **Australian journal of Crop Science**, v. 7, n. 9, p. 1277-1283. 2013.

RAMOS, R. S. **Seleção de Cana-energia**. Viçosa. MG.2015.

RUBIN, E.M., 2008. **Genomics of cellulosic biofuels**. **Nature** 454(14):841-845.

RODRIGUES, J.D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu-SP, n.1, p.101, 1994.

RONG-HUA, L.I.; PEI-POL, G.U.O.; BAUMZ, M.; GRANDO, S.; CECCARELLI, S. Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley. **Agricultural Sciences in China**, Oxford, v. 5, n. 10, p. 551-557, 2006.

ROSA, L.M.; DILLENBURG, L.R.; FORSETH, I.N. Responses of soybean leaf angle, photosynthesis and stomatal conductance to leaf and soil water potential. **Annals of Botany**, London, v. 67, n.1, p. 51- 58, 1991,

SALASSI, M. E. et al. Farm-Scale Cost of Producing Perennial Energy Cane as a Biofuel Feedstock. **BioEnergy Research**, v. 7, n. 2, p. 609-619, 2014.

SAQUET, A.A.; STREIFT, J. Chlorophyll fluorescence as a predictive method for detection of browning disorders in 'conference' pears and 'jonagold' apples during controlled atmosphere storage. **Ciência Rural**, v.32, p.571-576, 2002.

SANTOS, C.M. et al. Physiological Changes Associated with Antioxidant Enzymes in Response to Sugarcane Tolerance to Water Deficit and Rehydration. **Sugar Tech**, v.17, n.3, p.291-304, 2015.

SCHMER, M.R.; VOGEL, K.P.; MITCHELL, R.B.; PERRIN, R.K. 2008. Net energy of cellulosic ethanol from switchgrass. **Proceedings of the National Academy of Science** 105:464-469.

SHALHEVET, J. Plants under salt and water stress. In: FOWDEN, L.; MANSFIELD, T.; STODDART, J. **Plant adaptation to environmental stress**. London: Chapman & Hall, 1983. cap 7, p.133-54.

SCHLEMMER, M. R.; FRANCIS, D. D.; SHANAHAN, J. F.; SCHEPERS, J. S. Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. **Agronomy Journal**, Cornell, v. 119, p. 166-182, 2012.

SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M.; MOZAMBANI, A. E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V. et al. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Livroceres, p.19-36, 2006.

SILVA, A.L.C. da; COSTA, W.A.J.M. de. Varietal variation in growth, physiology and yield of sugarcane under two contrasting water regimes. **Tropical Agricultural Research**, v.16, p.1-12, 2004.

SILVA, M. A. et al. Photosynthetic capacity and water use efficiency in sugarcane genotypes subject to water deficit during early growth phase. **Braz. arch. biol. technol.**, v. 56, n. 5, 2013.

SILVA, M. A. et al. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 19, p. 193- 201, 2007.

SILVA, M. A. J. L. et al. Relationships between physiological traits and productivity of sugarcane in response to water deficit. **Journal of Agricultural Science**, v.152, p.104-118, 2014.

SILVA, M. A.; SANTOS, C. M.; ARANTES, M. T.; BRUNELLI, M. C.; HOLANDA, L. A. Respostas fisiológicas de cultivares de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica e a reidratação. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 3, p. 28-35, 2013.

STRIZH, I.G.; LYSENKO, G.G.; NEVEROV, K.V. Photoreduction of Molecular Oxygen in Preparations of Photosystem II under Photoinhibitory Conditions. **Russian Journal of Plant Physiology**, v.52, n.6, p.717-723, 2005.

STICKLEN, M.B. 2008. Plant genetic engineering for biofuel production: towards affordable cellulosic ethanol. **Nature Reviews** 9:433-443.

SUN Y., CHENG J. Y. (2008) Hydrolysis of ligno cellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresource Technology* 83:1-11 Tew TL, Cobill RM (2008) Genetic Improvement of Sugarcane (*Saccharum* spp.) as an Energy Crop. In: Vermerris W (ed) Genetic Improvement of Bioenergy Crops. **Springer**, New York, pp 249-271.

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

VAZZANA, C. Photosynthesis and PSII functionality of droughtresistant and drought-sensitive weeping lovegrass plants. **Environmental and Experimental Botany**, Paris, v. 49, n. 2, p. 135-144, 2003.

VERARDI, A. Improving the enzymatic hydrolysis of *saccharum officinarum* L. bagasse by optimizing mixing in a stirred tank reactor: Quantitative analysis of biomass conversion. **Fuel Processing Technology**, v. 149, p. 15-22, 2016.

VIOLANTE, M. H. S. R. Potencial de produção de cana-energia. **Dissertação de Mestrado**. Fundação Getúlio Vargas. São Paulo. 2012.

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

WIEDENFELD, R.P. Effects of irrigation and N fertilizer application on sugarcane yield and quality. *Field Crops Research*, v.43, p.101-108, 1995.

YANG H. et al. n-Depth investigation of biomass pyrolysis based on three major components: hemicellulose, cellulose and lignin. **Energy & Fuels**, v. 20, p.388-393, 2006.

ZANANDREA, I.; BACARIN, M. A.; SCHIMITZ, D. D. et al. Chlorophyll fluorescence in in vitro cultivated apple. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.12, p.305-308, 2006.