



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

JUANDERSON MOURA DA SILVA

**EFICIÊNCIA FISIOLÓGICA EM CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDA A
ADUBAÇÕES FOLIARES**

**AREIA
2022**

JUANDESON MOURA DA SILVA

**EFICIÊNCIA FISIOLÓGICA EM CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDA A
ADUBAÇÕES FOLIARES**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal
da Paraíba como parte das
exigências para a obtenção do título
de bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Mielezrski

**AREIA
2022**

Ficha catalográfica

Catlogação na publicação Seção de

S586e Silva, Juanderson Moura da.

Eficiência fisiológica em cana-de-açúcar submetida a adubações foliares /
Juanderson Moura da Silva. - Areia:UFPB/CCA, 2022.
31 f. : il.

Orientação: Fábio Mielezrski. Coorientação:
José Eldo Costa. TCC (Graduação) -
UFPB/CCA.

1. Agronomia. 2. Saccharum officinarum. 3. Fotossíntese. 4. CO₂. 5. Estresse
hídrico. I. Mielezrski, Fábio. II. Costa, José Eldo. III. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631/635(02)

Catlogação e Classificação

**EFICIÊNCIA FISIOLÓGICA EM CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDA A
ADUBAÇÕES FOLIARES**

Aprovado em: 05/12/2020

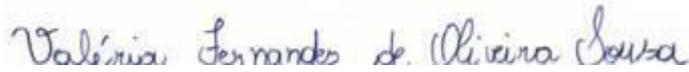
BANCA EXAMINADORA



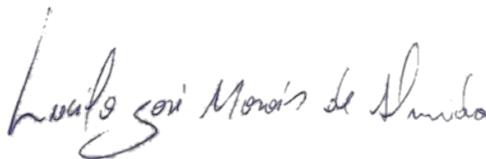
Prof. Dr. Fábio Mielezski (Orientador)
Universidade Federal da Paraíba (DFCA/CCA/UFPB)



MSc. José Eldo Costa
(Coorientador) Universidade Federal da Paraíba
(PPGAgro/CCA/UFPB)



MSc. Valéria Fernandes de Oliveira Sousa
(Examinadora Interna) Universidade Federal da Paraíba
(PPGAgro/CCA/UFPB)



Eng. Agrônomo Lucilo José Morais de Almeida
(Examinador Externo) Ubyfol – Excelência em Nutrição Vegetal

A minha mãe, pela dedicação,
companheirismo e amizade, meu pai,
minha irmã e meu tio Silvano (*in
memoriam*) DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À Deus que sempre esteve comigo nos momentos difíceis da minha vida e que nunca me deixou desistir dos meus sonhos. À Bruno de Oliveira Dias, coordenador do curso, por seu empenho, dedicação e apoio durante todo o curso.

Ao meu orientador Fábio Mielerzski e coorientador José Eldo Costa, pelo apoio e orientações que foi me oferecido, aos membros da Banca, MSc. Valéria Fernandes de Oliveira Sousa e o Engenheiro José Lucilo Moraes de Almeida que se disponibilizaram em participar deste momento único em minha vida. Ao meu pai Antonio José da Silva, a minha mãe Domiciana de Moura Silva, a minha irmã Joannes Moura da Silva pela compreensão por minha ausência nos momentos em família.

A minha avó “Mamãe” (*in memoriam*), embora fisicamente ausente, sentia sua presença ao meu lado, dando-me força. A meu avô “Seu Bio” (*in memoriam*), embora fisicamente ausente, sentia sua presença ao meu lado, dando-me força. A meu tio “Silvano” (*in memoriam*), embora fisicamente ausente, sentia sua presença ao meu lado, dando-me força o tempo todo.

Aos professores do Curso da UFPB, em especial, Fábio Mielezrski, Walter Esfrain Pereira, Alexandre Paiva Da Silva, Jose Crispiniano Feitosa Filho, Bruno de Oliveira Dias, que contribuíram ao longo desses semestres, por meio das disciplinas e debates, para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos funcionários da UFPB, “Assis” da residência universitária, “Chefia” funcionário da limpeza e “Candin” funcionário da limpeza. pela presteza e atendimento quando nos foi necessário.

Aos colegas de classe “Rafael Bola” grande amigo desde o colégio agrícola, Abraão, Adailton, Izabelly Pontes, Nohana Andrade, Silvio Lisboa, Rodrigo Viriato, Ramon Bernardo, Bárbara Moura, Guilherme Romão, Eduardo Marinho, Eduardo Medeiros, Levi e Thiago Pereira pelos momentos de amizade e apoio. A equipe do GESUCRO onde me acolheu e tive a oportunidade de crescer profissionalmente e pessoalmente. À meus amigos da universidade Mayra Nascimento, José Fidelis, José Lucilo, Thomas Ferraz, Mauricio Alves, Jardel Melo, João Henrique, Erickson Clayton, Jorge Carvalho, Islaumax Darllony, Thomazia, Ingridy Vieira, Luana Ferreira, Mariana Dias, Samara Virgínia, Adjair Silva, José Manoel e entre outros, muito obrigado a todos pelos bons momentos e experiências adquiridas.

SILVA, Juanderson Moura da. **EFICIÊNCIA FISIOLÓGICA EM CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDA A ADUBAÇÕES FOLIARES**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia), Universidade Federal da Paraíba. Areia, PB. 2022.

RESUMO

A cultura da cana-de-açúcar é considerada hoje uma grande alternativa para o setor de biocombustíveis do Brasil e do mundo. O objetivo desse trabalho foi avaliar as trocas gasosas relacionadas ao parcelamento da adubação foliar em cana-de-açúcar. O trabalho foi conduzido entre maio de 2019 e julho de 2020 na Fazenda Experimental Chã de Jardim, do Departamento de Fitotecnia e Ciências Ambientais (DFCS), no Centro de Ciências Agrárias (CCA), da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), no município de Areia-PB. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com os seguintes tratamentos: T1: 1 aplicação aos 100 DAP, T2: 1 aplicação aos 180 DAP, T3: 1 aplicação aos 240 DAP, T4: 2 aplicações (100 e 180 DAP), T5: 2 aplicações (100 e 240 DAP), T6: 2 aplicações (180 e 240 DAP) e T7: Testemunha, com 4 repetições. Para análise das respostas fisiológicas das plantas em função dos tratamentos adotados, foram avaliadas a fotossíntese líquida (A) ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), a condutância estomática (g_s) ($\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), a concentração interna de CO_2 (C_i) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$), transpiração (E) ($\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$). Posteriormente, foram calculadas as relações A/E (eficiência instantânea do uso da água), A/g_s (eficiência intrínseca do uso da água) e A/C_i (eficiência instantânea de carboxilação). Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). Os resultados indicam que há resposta positiva da eficiência devido a cana-de-açúcar possuir uma alta taxa fotossintética e resgate de CO_2 . Para a fotossíntese líquida, o tratamento com adubação parcelada entre 100 e 180 dias foi superior em relação a testemunha, a condutância estomática não diferiu estaticamente entre os tratamentos onde ocorreu o parcelamento, já a concentração interna de carbono nas folhas foram iguais para o tratamento controle e o tratamento com parcelamento entre 100 e 240 dias.

Palavras-Chave: *Saccharum officinarum*; fotossíntese; CO_2 ; estresse hídrico.

SILVA, Juanderson Moura da. **PHYSIOLOGICAL EFFICIENCY IN SUGARCANE SUBMITTED TO FOLIARY FERTILIZATION**. Course conclusion work (Graduation in Agronomy), Universidade Federal da Paraíba. Areia, PB. 2022.

ABSTRACT

The culture of sugarcane is now considered a great alternative for the biofuels sector in Brazil and the world. Its main product is ethanol, but there are by-products that are obtained by the national sugar and alcohol industry. The objective of this work was to evaluate how gas exchanges related to the splitting of foliar fertilization in sugarcane. The work was conducted between May 2019 and July 2020 at the Experimental Farm Chã de Jardim, of the Department of Phytotechnics and Environmental Sciences (DFCS), at the Center for Agricultural Sciences (CCA), of the Federal University of Paraíba (UFPB), in the municipality of Areia-PB. The treatments were: T1) 1 application at 100 DAP, T2) 1 application at 180 DAP, T3) 1 application at 240 DAP, T4) 2 applications (100 and 180 DAP), T5) 2 applications (100 and 240 DAP), T6) 2 applications (180 and 240 DAP) and T7) Control, in random blocks with 4 repetitions. For the analysis of the physiological responses of the plants as a function of the adopted treatments, liquid photosynthesis (A) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), stomatal conductance (gs) ($\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), internal concentration of CO₂ (Ci) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$), transpiration (E) ($\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), through the portable infrared gas analyzer, IRGA (LI-COR®, Nebraska, USA), model LI-6400XT. Subsequently, they were calculated as A / E ratios (instant water use efficiency), A / gs (intrinsic water use efficiency) and A / Ci (instant carboxylation efficiency). The data were prepared for analysis of variance and as means compared by the Scott-Knott test ($p < 0.05$). The results indicate that the positive efficiency response due to sugarcane has a high photosynthetic rate and CO₂ recovery. For liquid photosynthesis, the treatment with split fertilization between 100 and 180 days was superior in relation to the control, the stomatal conductance did not differ statically between the treatments where the split occurred, since the internal concentration of carbon in the leaves was the same for the control treatment and treatment with installments between 100 and 240 days.

Keywords: *Saccharum officinarum*; photosynthesis; CO₂; water stress.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Comparativo de produtividade de cana-de-açúcar por região – 12p.

Figura 2 - Esquema da morfologia da folha, bainha e da articulação – 14p.

Figura 3 – Fotossíntese líquida (A), condutância estomática (B), concentração interna de CO₂ (C) e transpiração (D) de cana-de-açúcar cv. RB92579 (cana-planta) sob diferentes épocas de aplicação de adubação foliar. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) – 21p.

Figura 4 – Eficiência instantânea do uso da água (A), eficiência intrínseca do uso da água (B) e eficiência instantânea de carboxilação (C) de cana-de-açúcar cv. RB92579 (cana-planta) sob diferentes épocas de aplicação de adubação foliar. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) – 22p.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Atributos químicos do solo da área experimental (0 - 0,20 m) – 18p.

Tabela 2. Distribuição dos tratamentos utilizados no experimento – 18p.

Tabela 3. Resumo da Anova para as variáveis fotossíntese líquida (A), condutância estomática (g_s), concentração interna de CO_2 (C_i), transpiração (E), eficiência instantânea do uso da água (A/E), eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) e eficiência instantânea de carboxilação (A/C_i).- 20p.

Sumário

| | |
|--|-----------|
| INTRODUÇÃO..... | 10 |
| 2. REVISÃO DA LITERATURA..... | 11 |
| 2.1 A cultura da cana-de-açúcar e sua importância..... | 11 |
| 2.2 Origem da cana-de-açúcar | 12 |
| 2.3 Características da planta..... | 12 |
| 2.4 Sistema Radicular | 13 |
| 2.5 A Folha | 13 |
| 2.6 Relações hídricas | 14 |
| 2.7 Respostas da fotossíntese | 15 |
| 2.8 Instrumentos utilizados para realizar medições do processo de fotossíntese | 15 |
| 2.9 Trocas Gasosas..... | 15 |
| 2.10 Adubação Foliar..... | 16 |
| 3. METODOLOGIA | 17 |
| 3.1 Área experimental | 17 |
| 3.2 Design experimental..... | 18 |
| 3.4 Manejo agrônômico | 18 |
| 3.5 Variáveis analisadas | 19 |
| 3.6 Análises estatísticas..... | 19 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 20 |
| 5. CONCLUSÃO | 23 |
| 6. REFERÊNCIAS | 23 |

INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar é considerada hoje uma grande alternativa para o setor de biocombustíveis do Brasil e do mundo. O seu principal produto é o etanol, mas existem centenas de subprodutos que são produzidos pela indústria sucroalcooleira nacional. Por ser um produto bem competitivo e essencial para a indústria brasileira, torna-se indispensável a melhoria e aumento de sua produtividade para que a cultura possa entregar o seu potencial máximo no campo. Hoje o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, na safra 2019/2020 foram mais de 642,7 milhões de toneladas colhidas, tendo assim um aumento de 3,6% em relação à safra 2018/2019 (CONAB, 2020).

O nordeste brasileiro possui condições climáticas favoráveis para a cultura da cana-de-açúcar, todos os estados do nordeste potencializaram a produção em comparação a safra 2018/2019, totalizando assim uma produção de 49,1 milhões de toneladas, isso significa um acréscimo de 10,6% em relação a temporada passada (CONAB, 2020)

Ainda de acordo com a CONAB (2020), a Paraíba apresentou condições favoráveis para o desenvolvimento da cana-de-açúcar na safra 2019/2020, os índices pluviométricos no estado foram acima da média, resultando assim um incremento na produção de 0,6% em relação a safra passada, ficando assim com uma área plantada de 122,8 mil hectares e o rendimento médio foi cerca de 54.837 kg/ha, resultando no total 6.736,2 mil toneladas.

As análises de trocas gasosas e de fluorescência da clorofila na cultura da cana-de-açúcar podem ser úteis para diagnosticar o estado fisiológico das plantas em relação às adversidades do ambiente em que se encontra. Segundo Torres Netto et al. (2005) as medidas quantificadas de trocas gasosas e de fluorescência da clorofila podem ser utilizadas como ferramentas para auxiliar a integridade do aparato fotossintético frente às adversidades ambientais, ou seja, estimar o quanto a planta está conseguindo adquirir energia para produzir biomassa.

Alguns autores exemplificam modelos que se preocupam com o detalhamento das relações dos fatores ambientais com os processos fisiológicos. Por exemplo, o QCANE (Liu & Bull, 2001; Singels et al., 2005) relata que o processo de crescimento e desenvolvimento da cultura inclui estimativas da fotossíntese e de respiração, que são funções primordiais do crescimento da cultura e das variações ambientais.

A clorofila “a” é abrangente em todas as células fotossintetizadoras e atua desempenhando um papel importante no processo de bioconversão de energia (BARROS., 2019). Para que o processo da fotossíntese seja bem sucedido, os estômatos devem se encontrar abertos, visto que os mesmos podem se encontrar fechados devido ao estresse hídrico, a planta tenta restringir a perda de água ocasionada pela transpiração, o que diminui o processo fotossintético pela restrição de CO₂ (AVELINO., 2018).

Dessa forma, esse trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência das trocas gasosas da cana-de-açúcar através do parcelamento da adubação foliar.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 A cultura da cana-de-açúcar e sua importância

Hoje, existem diversas espécies de *Saccharum* no mundo, elas evoluíram sob condições elevadas de irradiação solar, temperaturas e demanda hídrica. A cana é uma cultura de ciclo perene de grande porte que se adapta bem em regiões tropicais, a cultura é adaptada a uma grande variação climática que se estende da latitude 35° norte a -35° sul da linha do Equador (BLUME., 1985). No mundo, a cultura é produzida em cerca de 100 países em uma área de cultivo de 23,9 milhões de hectares, representando aproximadamente 1,5% da área total agrícola cultivada no mundo (CALGARO; COELHO, 2015).

A cana-de-açúcar destaca-se por ser uma fornecedora de matérias primas de grande importância para a economia, produzindo por exemplo o açúcar, álcool, aguardente, açúcar mascavo, rapadura, melado e ainda é fonte de alimento para a produção animal como também fonte de bioenergia para alimentar as caldeiras de usinas (FAO., 2009).

De acordo com os dados do último levantamento feito pela Companhia Nacional do Abastecimento (CONAB., 2020), a safra 2020/21 indica leve diminuição de 0,1% na produção da cultura da cana-de-açúcar em relação à safra 2019/20. A estimativa é que sejam colhidos para o ano de 2020 cerca de 642,1 milhões de toneladas.

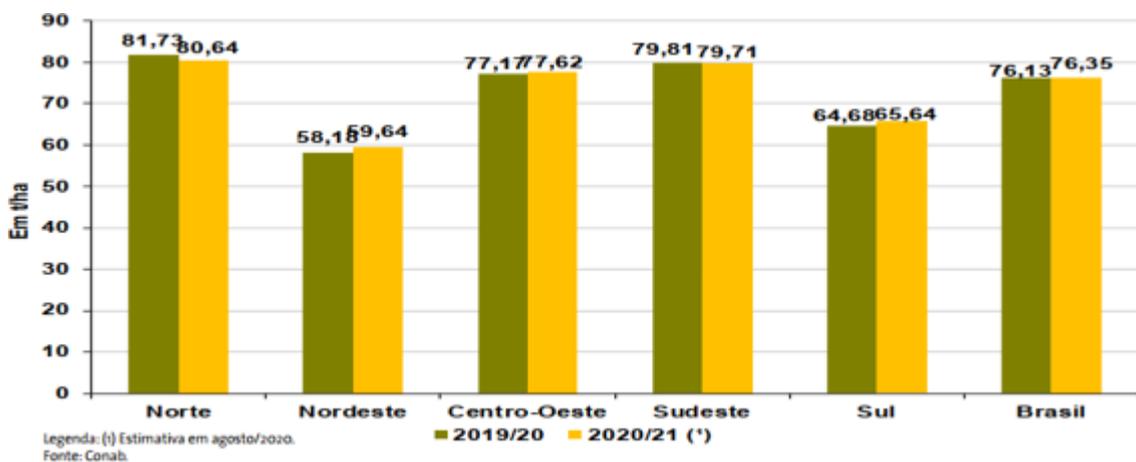
No Nordeste, o clima bom com radiação elevada tem favorecido as condições da cana-de-açúcar na região. Estima-se um aumento de aproximadamente 1,6% na área e 2,5% na produtividade média da cultura da cana-de-açúcar, dessa forma a estimativa de produção na região nordeste é de 51,1 milhões de toneladas, um incremento de 4,1% a mais em relação a última safra (CONAB, 2020).

No estado da Paraíba, a expectativa é de que a produtividade seja maior do que a safra

2019/20. São esperados cerca de 123,1 mil hectares destinados á produção de 6,8 milhões de toneladas de cana-de-açúcar. Esse fato deve-se as condições climáticas favoráveis para o cultivo da cultura na região nordeste (CONAB, 2020).

De maneira geral, as condições climáticas têm oscilado durante o ciclo da cultura, mas mesmo assim são consideradas favoráveis na maioria das regiões produtoras do Brasil, isso explica o ligeiro acréscimo em comparação a safra 2019/20. De maneira geral, a produtividade média nacional no levantamento da Conab é de 76.348 kg/ha, representando dessa maneira um aumento de 0,3% em relação ao valor final obtido na safra 2019/20 (CONAB., 2020).

Figura 1 - Comparativo de produtividade de cana-de-açúcar por região



Fonte: Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2020).

2.2 Origem da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma planta alógama e de ciclo perene no que diz respeito a sua forma natural de ocorrência. Os primeiros vestígios da sua presença na história foram em uma área vasta do sudoeste da Ásia. (DANIELS; ROACH, 1987; GRIVET; GLASZMANN; D'HONT 2006).

2.3 Características da planta

As principais variedades de cana hoje são híbridas, ou seja, as espécies são cruzadas entre si para se obter uma variedade específica para cada região e assim potencializar a produção. A cana-de-açúcar apresenta reprodução sexuada, mas atualmente a forma de propagação é assexuadamente através de propagação (MATSUOKA; GARCIA; ARIZONO,

2005).

De acordo com Daniels e Roach (2001) na reprodução assexuada, a fase inicial decréscimo das mudas é de forma lenta. No entanto, após o estabelecimento da cultura no solo, tanto as plantas formadas sexuadamente e assexuadamente possuem pouca indiferença estrutural (GALON et al., 2009).

2.4 Sistema Radicular

A cana-de-açúcar possui um sistema radicular fasciculado bem ramificado. Segato et al. (2006) relata que aproximadamente 85% das raízes da planta é encontrada numa profundidade de até 50cm. O tamanho das raízes é influenciado por tipo de solo e seu manejo, variações dos fatores bióticos e abióticos e o estresse hídrico.

O tipo de raiz pode favorecer os agentes bióticos do solo, visto que a mesma pode ser colonizada por fungos benéficos e bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico (JAMES; REIS; OLIVARES, 1994).

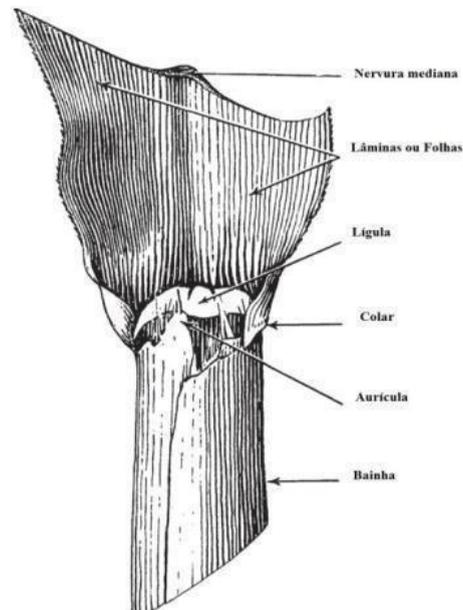
2.5 A Folha

As folhas são formadas por lâmina e a folha que é composta por uma nervura central, a bainha, as folhas jovens e uma junta articulada entre a bainha e a folha que é chamada de colar (NELSON, 2011). De modo geral, as folhas da cana são C4 e apresentam sistema vascular disposto de forma longitudinal e todos são ligados por feixes transversais que possuem a função de transportar fotoassimilados por toda a planta.

Marchiori, Machado e Ribeiro, (2010) relata a variação da taxa de assimilação de CO₂ nos extratos superiores e inferiores da cana-de-açúcar, as reduções podem ser até quatro vezes menor quando é comparado ao extrato superior do dossel da cultura.

Em média, a folha da cana-de-açúcar (Figura 2) possui comprimento de 0,60m a 1,5m e a largura varia de 2,5cm a 10cm (GODOY, 2007).

Figura 2 - Esquema da morfologia da folha, bainha e da articação



Fonte: (MARTIN., 1938).

2.6 Relações hídricas

A cultura da cana-de-açúcar tem chamado atenção de pesquisadores em todo o mundo quando se aborda relações hídricas (INMAN-BAMBER., 1994). De acordo com Inman-Bamber (2005) a preocupação com a água para a irrigação nas usinas e propriedades é limitada, visto que a cultura demanda de uma grande quantidade de água para completar seu ciclo e este recurso está se tornando escasso em todo o mundo. O déficit hídrico no solo não é característico apenas de regiões áridas e semiáridas, mas em regiões com umidade e precipitação regulares também se encontra um déficit hídrico que prejudica o crescimento das culturas (TAIZ; ZEIGER 2013; SMITH et al., 2005). Remesh (2000) relata que para a cana-de-açúcar os estágios vegetativos mais afetados pelo estresse hídrico são o perfilhamento e crescimento dos colmos.

O estresse hídrico afeta diretamente o metabolismo, fisiologia e morfologia das plantas, o que de certa forma afeta as taxas de fotossíntese e desenvolvimento vegetativo (TAIZ; ZEIGER, 2013). A restrição da fixação do CO₂ atmosférico é prejudicada já que o déficit hídrico apresenta efeito direto na enzima ribulose 1,5 bifosfato carboxilase oxigenase (RUBISCO) e também da fosfenol piruvato carboxilase (PEPcase) (TAIZ; ZEIGER, 2013). Quando o estresse hídrico é acentuado de forma negativa, as plantas fecham os estômatos para evitar a perda de água por transpiração celular, limitando assim a fixação de CO₂ (TAIZ; ZEIGER, et. al, 2013).

2.7 Respostas da fotossíntese

O processo de fotossíntese é baseado numa reação de oxido-redução entre o CO₂ (agente oxidante) e a H₂O (agente redutor), nessa reação os elétrons são transferidos contra um gradiente eletroquímico (TAIZ; ZEIGER 2013). A fotossíntese na cana-de-açúcar, que é uma planta C₄, é baseado em um processo evolutivo biológico bastante complexo bem conhecido pelo homem (MUHAIDAT; SAGE; DANGLER 2007; SAGE, 2004; TAIZ; ZEIGER, 2013). As pesquisas relacionadas a fotossíntese da cana-de-açúcar apontam que os ácidos de quatro carbonos, malato e aspartato eram os primeiros intermediários estáveis para a fixação de CO₂, dessa maneira, toda planta C₄ apresentam estruturas evolutivas e especializadas que contribuem na concentração de CO₂ nos sítios da Rubisco (VOZNESENSKAYA; FRANCESCHI; EDWARDS, 2004).

2.8 Instrumentos utilizados para realizar medições do processo de fotossíntese

Os instrumentos para analisar as trocas gasosas são úteis para quantificar os efeitos relacionados com o ambiente de produção. (NORMAN; GARCIA; VERMA, 1992). A fotossíntese é medida basicamente quando se avalia a troca de vapor de água e CO₂ em relação a folha e atmosfera (BEGUM et al., 2012).

Nos dias de hoje, essas medições são realizadas através de dispositivos que interpretam as medidas de trocas gasosas pelas plantas, dispositivos como o 6400 LI-COR que é dos Estados Unidos, o LCPRO da Inglaterra, o CIRAS-2 também americano e o Walz GFS-3000 da Alemanha. São máquinas que controlam a concentração de vapor de água e gás carbônico em volta da folha. Essas variáveis são o fluxo de gases em toda a folha, a temperatura média da folha, o nível de luz incidente que chega e o vapor de água que sai da folha (LONG; WOOLHOUSE 1996).

Para a fotossíntese, o CO₂ líquido é estimado como a taxa de assimilação que em um fluxo através do sistema, é calculada como a diferença na concentração do CO₂ entre a quantidade de ar que entra na câmara e a outra parte do ar que fica na folha. Já para estimar a transpiração, é medido como a diferença de concentração do vapor de água nos espaços intercelulares da folha (LONG; WOOLHOUSE, 1996).

2.9 Trocas Gasosas

A fotossíntese é muito prejudicada quando as concentrações intercelulares de CO₂ são baixas, mas ao mesmo tempo as taxas respiratórias não são afetadas. Como resultado, o

balanço entre o CO₂ fixado pela fotossíntese e o que é produzido pela respiração, dessa maneira, é produzido um efluxo líquido de dióxido de carbono proveniente da própria planta. Conforme a concentração de CO₂ aumenta até o ponto que esses dois processos chegam ao equilíbrio, a planta chega ao ponto de compensação de CO₂. Os estômatos são sensíveis á presença de dióxido de carbono e por esse motivo se fecham sempre que a concentração aumenta, seja dentro da câmara subestomática devido a respiração mitocondrial ou o aumento do CO₂ na própria atmosfera (LARCHER, 2004; TAIZ & ZEIGER, 2004).

A transpiração e fotossíntese estão relacionados às trocas gasosas entre os estômatos e a atmosfera. A fotossíntese líquida e a acumulação de massa seca também são dependentes de processos metabólicos que podem se manifestar ao estresse hídrico (INMAN-BAMBER & SMITH, 2005). A taxa de assimilação pode ser reduzida através do estresse hídrico levemente moderado e isso depende muito do genótipo, limitações difusas, limitações metabólicas e estresse oxidativo (PIMENTEL, 2005).

Segundo Larcher (2004) a resistência estomática é regulada pela planta de forma que a transpiração é proporcional ao balanço de energia, ele também relata que o status hídrico das células epidérmicas é responsável pela abertura estomática nas folhas e não necessariamente o aumento do volume hídrico da folha.

2.10 Adubação Foliar

Adubação foliar é o processo de aplicação de micro ou macro nutrientes minerais diretamente na folha do vegetal, a absorção desses nutrientes podem ser passivas e ativas são utilizados por toda a planta, não limitando apenas a região aplicada. A adubação foliar não se restringe apenas em aplicações de soluções de nutrientes nas folhas, o tratamento pode ser estendido aos ramos novos e adultos das plantas por meio de pulverizações que é designado de adubação foliar (MOCELLIN., 2004).

A prática da adubação foliar é conhecida a mais de 100 anos (BORKET, 1987). Mas só recentemente essa prática vem sendo estudada mais a fundo se comparado a outros métodos de adubação. A maioria dos produtores ignoram o uso dos micronutrientes, mas eles são tão importantes quanto os macronutrientes, apesar de serem requeridos em menores quantidades, os micronutrientes são essenciais as plantas (REZENDE et al., 2005). Os micronutrientes são muito significativos as plantas, para a cana-de-açúcar por exemplo, estes atuam no desenvolvimento e produtividade dos colmos, e sua falta pode retardar o crescimento e a produção de sacarose (ISMAIL et al., 2016).

A absorção radicular melhora quando a adubação foliar é utilizada (EIBNER., 1986). Mas essa técnica tem algumas restrições, visto que a utilização de sais solúveis como NPK deve ser feita em baixas concentrações, sendo necessárias várias aplicações para atingir a adequada quantidade de nutrientes das plantas (ROSOLEM., 1984).

As condições ambientais e práticas comuns de manejo da fertilidade do solo (FERNANDEZ et al., 2013; LIRA., 2018) podem ser alguns dos fatores com que as soluções nutritivas penetrem nas folhas. Com as folhas nutridas, todo o sistema da planta fica mais protegido ao ataque de doenças (MESQUITA et al., 2019).

Ao realizar estudos com a cana-de-açúcar, Orlando Filho et al (2001) destacaram que a cultura apresenta o fenômeno “fome oculta” com a absorção de micronutrientes, dessa forma, a deficiência limita a produtividade, mas a planta não demonstra na maioria das vezes sintomas visíveis de deficiência.

O canavial com a nutrição adequada, pode alcançar maiores resultados e demonstrar uma prática economicamente viável, visto que ocasiona uma melhoria na qualidade fotossintética e isso reflete na produtividade de colmos e açúcar (Korndörfer e Martins, 1992; Korndörfer, 1994; Orlando Filho et al., 2001; Marzha, 2015; Singh et al., 2015b; Lira, 2018).

3. METODOLOGIA

3.1 Área experimental

O trabalho foi conduzido entre maio de 2019 e julho de 2020 na Fazenda Experimental Chã de Jardim, do Departamento de Fitotecnia e Ciências Ambientais (DFCS), no Centro de Ciências Agrárias (CCA), da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), no município de Areia-PB, Brasil (latitude 6° 57' 42" S, longitude 35° 41' 43" W, altitude 573 m). O clima da região de acordo com a classificação climática de Köppen é do tipo Aw', quente e úmido (Alvares et al., 2013), com chuvas no período outono-inverno; com precipitação anual entre 1000 - 1400 mm, e temperatura média de 22,5 ° C (Ribeiro et al., 2018).

Ao longo da duração do experimento, a temperatura média do ar foi de 22,5 ° C, e a precipitação e umidade do ar de 1678,2 mm e 84%, respectivamente. O solo da área experimental de natureza argilo-arenosa foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico, segundo a Embrapa (Santos et al., 2013). Realizou-se amostragem prévia do solo coletada na camada de 0-0,20 m, seguindo os protocolos de análises químicas de Embrapa (2017), as quais estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos químicos do solo da área experimental (0 - 0,20 m)

| pH (em água) | <u>P</u> mg dm ³ | <u>K</u> mg dm ³ | <u>Na</u> | <u>H+Al</u> | <u>Al</u> | <u>Ca</u> | <u>Mg</u> | <u>SB</u> | <u>CTC</u> | <u>MO</u> g kg ⁻¹ |
|--------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|---------------------------------|
| 5,86 | 2.10 | 33.28 | 0.08 | 2.34 | 0.0 | 4.24 | 2.18 | 6,59 | 8,93 | 38.34 |

(P e K): Extrator Mehlich-1; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátions; MO: matéria orgânica.

Fonte: Laboratório de Solos – CCA/UFPB, 2020.

3.2 Design experimental

O delineamento experimental adotado foi o de blocos completamente casualizados, constituído por sete tratamentos (Tabela 2), com quatro repetições, totalizando 28 unidades experimentais.

Tabela 2. Distribuição dos tratamentos utilizados no experimento

| Denominação do tratamento | Quantidade de aplicações do AF | Época de aplicação do AF | Estádio fenológico da cana-de-açúcar |
|---------------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| Tratamento 1 | Sem aplicação | Sem aplicação | - |
| Tratamento 2 | 1 aplicação | 100 DAP | Crescimento inicial (CI) |
| Tratamento 3 | 1 aplicação | 180 DAP | Crescimento final (CF) |
| Tratamento 4 | 1 aplicação | 240 DAP | Início de maturação (IM) |
| Tratamento 5 | 2 aplicações | 100+180 DAP | CI+CF |
| Tratamento 6 | 2 aplicações | 100+240 DAP | CI+IM |
| Tratamento 7 | 2 aplicações | 180+240 DAP | CF+IM |

AF: Adubo foliar. DAP: Dias após plantio.

Fonte: Elaborado pelo autor, Areia-PB, 2020.

3.4 Manejo agrônômico

Em condições de campo, cada parcela foi constituída por cinco fileiras, com cinco metros lineares no espaçamento de 1,20 m entre linhas e 2,0 m entre blocos, em área total de 1.410 m², em que as três fileiras centrais constituíram a área útil para avaliação das características agrônômicas e as duas linhas externas consideradas como bordadura. O genótipo utilizado foi a RB92579 indicada para cultivo na região.

A área experimental apresentava ocupação com predomínio de capim braquiária (*Brachiaria* spp.) e estava em pousio desde 2015. Realizou-se a calagem manual a lanço (2 t ha⁻¹) com uso de calcário dolomítico. O preparo do solo foi constituído por uma aração seguida de grade de nivelamento.

Na adubação de base foram utilizados 150 kg P ha⁻¹ e 120 kg K ha⁻¹ nas formas de cloreto de potássio e superfosfato simples, seguindo a análise de solo e na adubação de cobertura utilizaram-se 300kg N ha⁻¹ na forma de sulfato de amônio através de duas aplicações parceladas mensalmente.

O plantio foi realizado de forma manual em sulcos abertos nas fileiras, adotando-se a densidade de 15-20 gemas por metro linear. Capinas manuais periódicas foram realizadas para evitar a matocompetição.

3.5 Variáveis analisadas

Para análise das respostas fisiológicas das plantas em função dos tratamentos adotados, foram avaliadas a fotossíntese líquida (A) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), a condutância estomática (g_s) ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), a concentração interna de CO_2 (C_i) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$), transpiração (E) ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), através do analisador portátil de gás infravermelho, IRGA (LI-COR®, Nebraska, USA), modelo LI-6400XT. Posteriormente, foram calculadas as relações A/E (eficiência instantânea do uso da água), A/g_s (eficiência intrínseca do uso da água) e A/C_i (eficiência instantânea de carboxilação).

A intensidade luminosa foi controlada artificialmente mantendo-se em $2.500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ durante as avaliações. As trocas gasosas foram medidas em único dia no intervalo entre as 11 h e 13 h, na terceira folha totalmente expandida e com lígula aparente (folha +3), no terço médio do limbo foliar, realizadas dois meses antes do ponto de colheita do ciclo.

3.6 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk, homogeneidade de variâncias pelo teste de Bartlett e análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$) segundo os critérios de Banzatto e Kronka (2011) para experimentos em blocos casualizados. Posteriormente, os efeitos dos tratamentos foram estudados pelo teste de Scott-Knott adotando-se $p < 0,05$. Nas variáveis estudadas utilizou-se o modelo estatístico (1):

$$y_{ij} = \mu + a_i + b_j + e_{ij} \quad (1)$$

Em que y_{ij} : observação que recebe o tratamento i , no bloco j ; μ : efeito médio geral; a_i : efeito do tratamento i , i = controle (sem aplicação do adubo foliar), 1 aplicação aos 100 DAP, 1 aplicação aos 180 DAP, 1 aplicação aos 240 DAP, 2

aplicações (100 e 180 DAP), 2 aplicações (100 e 240 DAP), 2 aplicações (180 e 240 DAP); *bj*: efeito do bloco *j*, *j* = 1, 2, 3, 4; *eij*: erro experimental atribuído ao tratamento *i*, do bloco *j*. Todas as análises foram conduzidas utilizando o software livre R 3.6.3 (R Core Team, 2020).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a análise de variância, houve efeito significativo ($p < 0,01$) para todas as variáveis estudadas, demonstrando que o parcelamento da adubação foliar interfere nas trocas gasosas da cana-de-açúcar.

Tabela 3. Resumo da Anova para as variáveis fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO₂ (Ci), transpiração (E), eficiência instantânea do uso da água (A/E), eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) e eficiência instantânea de carboxilação (A/Ci).

| FV | GL | A | G _s | C _i | E | A/E | A/g _s | A/C _i |
|---------|----|-----------|----------------|----------------|---------|---------|------------------|------------------|
| Bloco | 3 | 0,995 | 0,0001 | 661,658 | 0,015 | 0,128 | 27,300 | 0,0002 |
| Trat | 6 | 181,052** | 0,0139** | 10941,063** | 1,673** | 6,616** | 1692,135** | 0,018** |
| Resíduo | 18 | 1,962 | 0,0010 | 608,759 | 0,161 | 0,371 | 101,660 | 0,018 |
| CV% | | 9,85 | 15,10 | 14,19 | 11,16 | 15,86 | 15,27 | 20,15 |
| Total | 27 | | | | | | | |
| Média | | 14,22 | 0,211 | 173,92 | 3,60 | 3,84 | 66,02 | 0,096 |

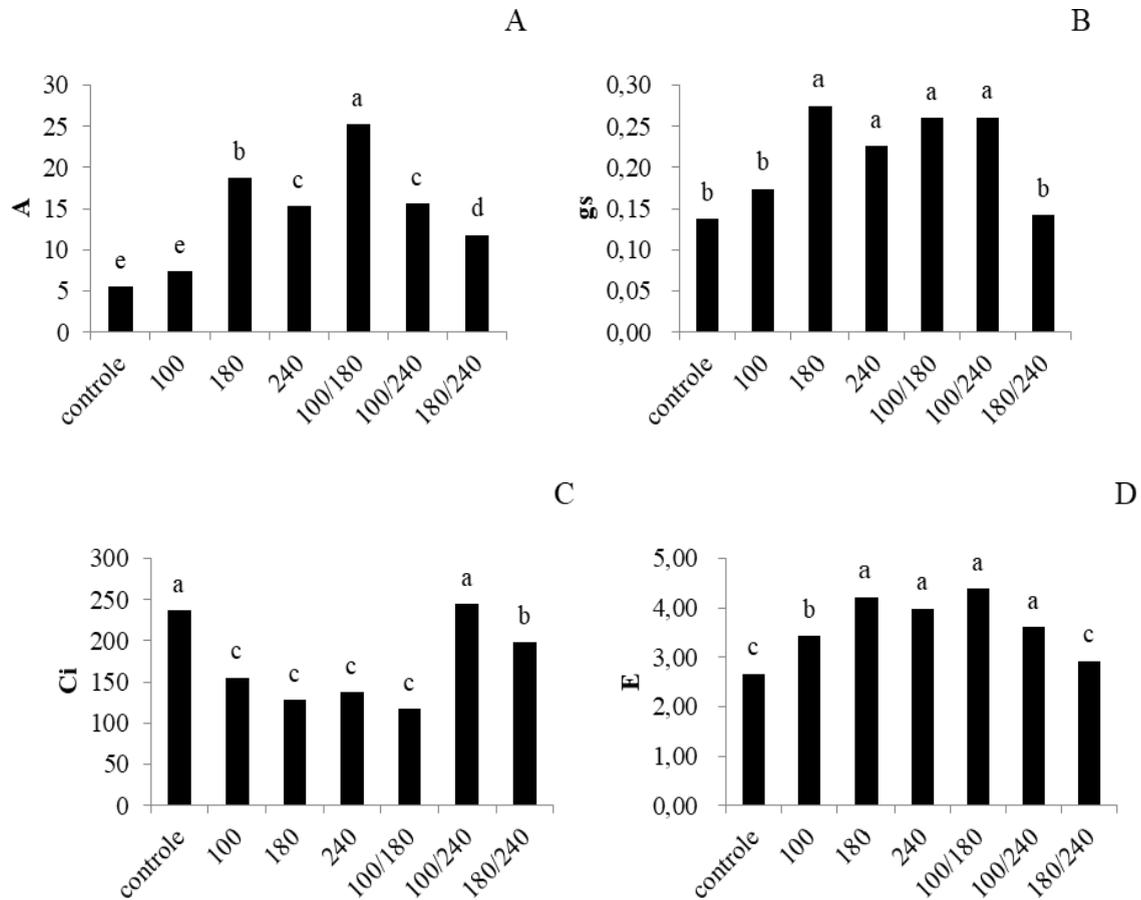
ns, **, * Não significativo, significativo a 1% e 5%, respectivamente, pelo teste F. CV: coeficiente de variação; GL: Grau de liberdade.

Fonte: Elaborado pelo autor, Fazenda Experimental Chã de Jardim.(UFPB/Areia, 2020).

De acordo com a Figura 3A, verificou-se que no tratamento 5 (parcelamento entre 100 e 180 dias), a fotossíntese líquida (A) foi superior em 78% em relação ao tratamento testemunha. Como qualquer planta da família *Poaceae*, a cana-de-açúcar é uma planta C₄ que produz compostos com 4 carbonos durante o processo de fotossíntese e sua principal característica é a alta taxa fotossintética e eficiência no resgate do CO₂ atmosférico (RODRIGUES, 1995; CASAGRANDE, 1996; SEGATO et al., 2006).

Figura 3. Fotossíntese líquida (A), condutância estomática (B), concentração interna de CO₂ (C) e transpiração (D) de cana-de-açúcar cv. RB92579 (cana-planta) sob diferentes épocas de aplicação de adubação foliar. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott

($p < 0,05$)



Fonte: Elaborado pelo autor, Fazenda Experimental Chã de Jardim. (UFPB/Areia, 2020).

Segundo Marin et al (2012) aproximadamente aos 100 dias a cana-de-açúcar finaliza a fase de estabelecimento da cultura, ou seja, suas folhas estão bem desenvolvidas, assim como também o seu sistema radicular.

Portanto, para um bom desenvolvimento da cultura é importante escolher bem a época de aplicação da adubação foliar. Já aos 180 dias a planta estimula o crescimento intenso, ocorre o alongamento do colmo e o início do acúmulo de sacarose (MARIN.,2012).

Entre o período de estabelecimento da cultura e o de crescimento intenso, as folhas da cana-de-açúcar estão bem desenvolvidas e alongadas, isso é de grande importância já que as exigências climáticas como a radiação seja atendida pela cultura, ou seja, a absorção de luz neste período é maior. Ocorre, portanto, a concentração de sacarose da planta que é regulado pelas condições térmicas e hídricas (CARDOZO e SENTELHAS.,2013).

Na figura 3B, observou-se que para a condutância estomática (gs) não houve diferença estatística para os tratamentos de 180, 240, 100/180 e 180/240 dias. Mas estes tratamentos foram superiores em 40% aos demais tratamentos. Esses resultados corroboram com Smit e Singels

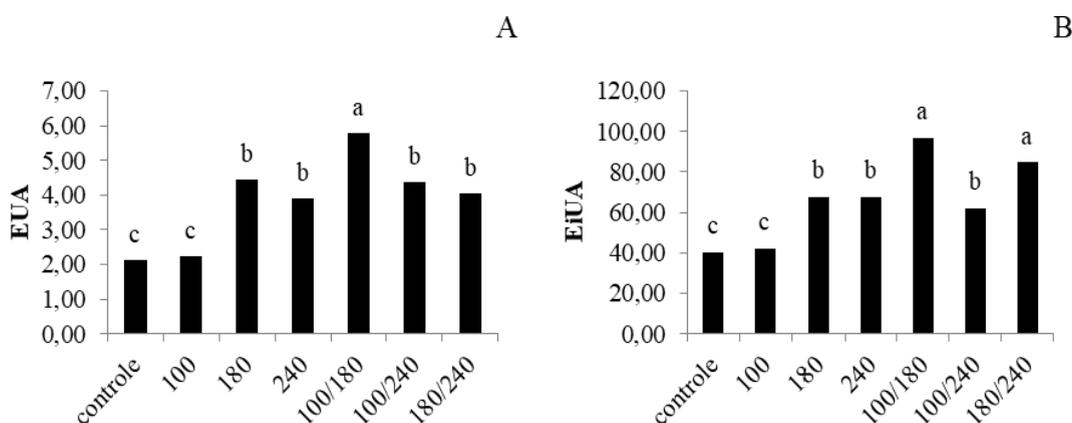
(2006) onde relataram que a condutância estomática é sensível ao estresse hídrico na medida em que o solo vai ficando seco, durante o período do experimento dias prolongados de seca podem ter afetado a eficiência da condutância estomática.

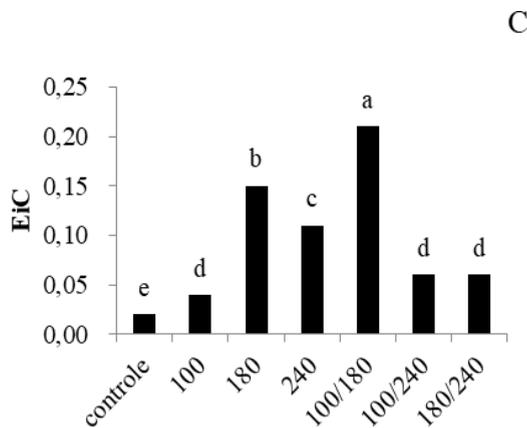
Na figura 3C, o tratamento 7 foi inferior ao tratamento controle e o tratamento 6, mas foi superior aos demais tratamentos, ou seja, a concentração interna de CO₂ (*C_i*) do tratamento controle e o tratamento 6 foram superiores aos demais em 44,86%. A fotossíntese é muito prejudicada quando ocorre desequilíbrios nas taxas de CO₂ dentro das células, isso porque os estômatos são sensíveis à presença de dióxido de carbono e quando isso ocorre, os estômatos se fecham (LARCHER, 2004; TAIZ & ZEIGER, 2004).

Costa e Marrenco (2007) afirma que a baixa concentração de CO₂ estimulam diretamente a abertura dos estômatos, enquanto a transpiração excessiva causa o seu fechamento. Para a Figura 3D, a transpiração (*E*) foi superior nos tratamentos 3, 4, 5 e 6 em 30% aos tratamentos controle e o tratamento 7. Apesar de não serem observadas diferenças significativas entre as taxas de transpiração para os tratamentos 3, 4, 5 e 6, tem-se considerado que a transpiração possui um papel muito importante nas folhas, que é a sua termorregulação, impedindo que atinja níveis letais para as plantas, regulando a temperatura interna das folhas e evitando a morte celular (TRIBUZY, 2005).

Observou-se na Figura 4A, que o tratamento 5 (parcelamento do adubo 100 e 180 dias) foi superior em 63% ao tratamento controle e aos demais tratamentos.

Figura 4. Eficiência instantânea do uso da água (A), eficiência intrínseca do uso da água (B) e eficiência instantânea de carboxilação (C) de cana-de-açúcar cv. RB92579 (cana-planta) sob diferentes épocas de aplicação de adubação foliar. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$)





Fonte: Elaborado pelo autor, Fazenda Experimental Chã de Jardim. (UFPB/Areia, 2020).

Na figura 4B, os tratamentos 5 e 7 foram superiores em 54% ao tratamento testemunha, a eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) é a relação direta da assimilação de CO_2 pela condutância estomática.

Observando os dados da Figura 4C, eficiência instantânea de carboxilação (A/C_i) no tratamento 5 foi superior em 90,4% ao tratamento controle, já o tratamento 3 teve uma superioridade de 86% ao tratamento testemunha.

5. CONCLUSÃO

Para a fotossíntese líquida, o tratamento com adubação parcelada entre 100 e 180 dias foi superior em relação a testemunha, a condutância estomática não diferiu estaticamente entre os tratamentos onde a adubação foi parcelada, já a concentração interna de carbono nas folhas foram iguais para o tratamento controle e o tratamento com parcelamento entre 100 e 240 dias. A transpiração foi alta em todos os tratamentos com doses parceladas, exceto no tratamento com parcelamento entre 180 e 240 dias.

6. REFERÊNCIAS

ALVARES, CA; STAPE, JL; SENTELHAS, PC; GONÇALVES, JLM; Sparovek, mapa de classificação climática de G. Köppen para o Brasil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, p.721-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

AMES, E.K.; REIS, V.M.; OLIVARES, F.L. Infection of sugarcane by the nitrogen-fixing bacterium *Acetobacter diazotrophicus*. *Journal of Experimental Botany*, *Oxford*, v. 45, p. 757-766, 1997.

ANDRÉ, R. G. B., MENDONÇA, J. C., MARQUES, V. D. S., PINHEIRO, F. M. A., &

Antioxidant responses of tolerant and non-tolerant sugarcane genotypes. *Plant Physiology and Biochemistry*, Paris, v. 74, n. 2, p. 165–175, 2014.

ARIAS, M. I. B.; DELGADO, E. O.; CARMENATE, R. V. **Cambios fisiológicos de la caña de azúcar ante el déficit hídrico**. 1.ed. México: Universidad Autónoma Chapingo, 1996. 135p.

AVELINO, João Raphael L. et al. trocas gasosas e biomassa de cultivares de cana-de-açúcar na fase vegetativa sob estresse hídrico, 2018.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. 2011. **Experimentação agrícola**. 4.ed. Jaboticabal: FUNP. 237p.

BARROS, Ana Cristina Viana; DE ARAÚJO, Tales Vinícius Marinho; LIMA, Renato Abreu. uma abordagem interdisciplinar sobre o estudo da fotossíntese. *Revista Ensino de Ciências e Humanidades-Cidadania, Diversidade e Bem Estar-RECH*, v. 5, n. Jul-Dez, p.426-445, 2019.

BEGUM, MK, ALAM, MR, ISLAM, MS, & AREFIN, MS (2012). Efeito do estresse

BERGONCI, J. I.; PEREIRA, P. G. Comportamento do potencial da água na folha e da condutância estomática do milho em função da fração de água disponível no solo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.10, n.2, p.229-235, 2002.

biochemistry in C4 eudicots. *Jornal Botany*, Amsterdam, v.94 p.362–381, 2007.

BLUME, H. Geography of sugar cane: environmental, structural and economical aspects of cane sugar production. Berlin: Dr. Albert Bartens Verlag, 1985. 248 p.

BOARETTO, L. F., CARVALHO, G., BORGIO, L., CRESTE, S., LANDELL, M. G.,

BORÉM, A. Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa: UFV, 2005. p. 225-274.

BORKERT, C. M. Soja: adubação foliar. Londrina: **EMBRAPA-CNPSO**, 1987. 34p.

CALGARO, M.; COELHO, D.S. Respostas de variáveis fisiológicas e tecnológicas da cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 46, n. 1, p. 11–20, 2015.

CARDOZO, N.P.; SENTELHAS, P C. Climatic effects on sugarcane ripening under the influence of cultivars and crop age. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 70, n. 6, p.449-456,nov. 2013.

CASAGRANDE, A. A. **Crescimento da cana-de-açúcar**. Stab, Açúcar, Álcool e Subprodutos, v. 14, n. 5, p. 7-8, 1996.

CAVALCANTE, P. G., BARBOSA, T. P. & endres, I. trocas gasosas e eficiência fotossintética em variedades de cana-de-açúcar submetidas a dois regimes hídricos, 2020.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar. cana-de-açúcar**. 2020. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar/item/download/32979_88b84286b1b3ca8a99aaaa5f7ae6d68c. Acesso em: 13 out. 2020.

COSTA, C. T. S. et al. pigmentos fotossintéticos, componentes da produção e produtividade de variedades cana-de-açúcar, 2017.

COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazônica**, v. 37, n. 2, p. 229-234, 2007.

DANIELS, J.; ROACH, B.T. Taxonomy and evolution in sugarcane. In: HEINZ, D.J. (Ed.). **Sugarcane improvement through breeding**. Amsterdam: Elsevier Press, 1987. v. 18, n. 1, p. 7–84.

Darwin's harvest: new approaches to the origins. evolution, and conservation of crop. New York: Columbia University Press, 2006. p. 49–66.

Development of single cell C4 photosynthesis in cotyledons of *Borszczowia aralocaspica*

(Chenopodiaceae) during transformation from storage to a photosynthetic organ. **Botany, Amsterdam**, v. 93, p. 1–11, 2004.

EDWARDS, GE. (2001) A anatomia de Kranz não é essencial para a fotossíntese de plantas C 4 terrestres. **Nature** , v. 414, n. 6863, pág. 543-546, 2001.

EIBNER, R. Important for productivity of modern plant cultivation. In: **FIRST INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FOLIAR FERTILIZATION**, 1., 1986, Berlin. Abstract. Dordrech: Martinus Nijhoff Publishers, p. 3-13.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solos**. 3.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2017. 575p.

entre plantas de arroz e biótipos de capim-arroz (*Echinochloa* spp.) resistente e suscetível ao quinclorac. *Planta Daninha, Ponta Grossa*, v. 27, n. 4, p. 701-709, 2009.

FAO. Statistical yearbook 2013: **world food and agriculture**. Disponível em: [http://www.fao.org/economic/ess/ess-publications/ess-yearbook/en/#.VDwCm_lDV- 4](http://www.fao.org/economic/ess/ess-publications/ess-yearbook/en/#.VDwCm_lDV-4)>Acesso em: 01 nov 2020.

FERNÁNDEZ, V.; SOTIROPOULOS, T.; BROWN, P. H. *Foliar Fertilization*: GALON, L.; FERREIRA, E.A.; SILVA, A.F.; NOLDIN, J.A.; FREITAS, M.A.M. Competição

GAZIOLAEAND, S. A.; AZEVEDO, R. A. *Foliar application of manganese increases sugarcane resistance to orange rust*. *Plant Pathology*, Seoul, v.68, p.1296–1307, 2019.

GODOY, A.P. **Modelagem de processos de acumulação de biomassa e de açúcar da cana-de-açúcar via sistemas nebulosos**. 2007. 122 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

GONÇALVES, F. M. **Evapotranspiração e coeficientes de cultivo da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial.**, 2010. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

hídrico nos caracteres fisiológicos e na qualidade do caldo da cana-de-açúcar. **Sugar Tech** , v. 14, n. 2, pág. 161-167, 2012.

IMPOSED by self-shading in field-grown sugarcane varieties. *Field Crops Research*, Amsterdam, v.155, p. 30–37, 2014.

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.

INMAN-BAMBER, N.G. *Temperature and seasonal effects on canopy development and light interception of sugarcane*. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 36, n. 1, p. 41–51, 1994.

- INMAN-BAMBER, N.G.; SMITH, D.M. *Water relations in sugarcane and response to water deficits*. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, n. 4, p. 185-202, 2005.
- ISMAIL, M.; AHMAD, T.; ALI, A.; NABI, G.; HAQ, N. U.; MUNSIF, F. *Response of*
- JAMES, G. Introduction to sugarcane. In: JAMES, G. *Sugarcane*. Oxford: **Wiley-Blackwell**, 2004. p. 1-19.
- 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.48, p.27-36, 1999.
- KORNDÖRFER, G. H. Importância na qualidade da cana-de-açúcar. In: SÁ, M. E.; BUZZETTI, S. (Ed.). *Importância da adubação e qualidade dos produtos agrícolas*. São Paulo: Ícone, 1994, v.1, p.1033-142.
- KORNDÖRFER, G. H.; ALCARDE, J. C. **Acumulo e teor de fósforo em folhas de cana-de-açúcar**. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*. Campinas, v.16, n.2, p.217-222,1992.
- LARCHER, W. *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos, SP: **RiMa**, 2004. 531 p.
- LIRA, M. V. S. *Adubação de plantio e foliar com micronutrientes na produção da cana-de-açúcar*. 2018. 87p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Animal) – Programa de PósGraduação em Ciência e Tecnologia Animal, Universidade Estadual paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Dracena, 2018.
- LONG, STEPHEN P.; FARAGE, P. K.; GARCIA, R. L. Measurement of leaf and canopy photosynthetic CO₂ exchange in the field. **Journal of experimental botany**, v. 47, n. 11, p. 1629-1642, 1996.
- MARCHIORI, P. E., MACHADO, E. C., & RIBEIRO, R. V. (2014). *Photosynthetic limitations imposed by self-shading*. In: *field-grown sugarcane varieties*. **Field Crops Research**, v. 155, p. 30-37, 2014.
- MARIN, F.R. *Clima*. Agência de Informação Embrapa. *Árvore Hiperbólica da Cana-de-açúcar*. 2008. Disponível em: < http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-deacucar/arvore/CONTAG01_18_3112006152934.html >. Acesso em: 18 nov. 2020.

- MARQUES, J. (2010). **Parte 1: Balanço de radiação e parâmetros derivados**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 25, n. 3, p. 375-382, 2010.
- MARTIN, J.P. **Sugarcane diseases in Hawaii**. Honolulu: Advertiser Publ., 1938. 212p.
- MATSUOKA, S.; GARCIA, A.A.F.; ARIZONO, H. **Melhoramento de espécies cultivadas**, v. 2, p. 205-251, 2005.
- MAZHAR, S. **Impact of zinc and boron application on growth, cane yield and recovery in sugarcane**. Life Sciences International Journal, Chennai, v.10, n.1, p.30-37, 2016.
- MAZZAFERA, P., & AZEVEDO, R. A. (2014). *Water stress reveals differential antioxidant responses of tolerant and non-tolerant sugarcane genotypes*. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 74, p. 165-175, 2014.
- MESQUITA, G. L.; TANAKAA, F. A. O.; ZAMBROSIB, F. C. B.; CHAPOLAC, R.; CURSIC, D.; HABERMANND, G.; MASSOLA JRA, N. S.; FERREIRAA, V. P.;
- MOCELLIN, R. S. (2004). **Princípios da adubação foliar. Coletânea de dados e revisão bibliográfica**. Canoas/RS: Omega Fertilizantes, 83p, 2004.
- MONTEITH, J.L. *The exchange of water and carbon by crops in a Mediterranean climate*. **Irrigation Science**, Berlin, v. 14, n. 2, p. 85–91, 1993.
- MUHAI DAT, R.; SAGE, R.F.; DENGLER, N. G. Diversity of Kranz anatomy and Nable,
- NELSON, T. *The grass leaf developmental gradient as a platform for a systems understanding of the anatomical specialization of C4 leaves*. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, p. 3039–3048, 2011.
- NORMAN, J.M.; GARCIA, R.; VERMA, S.B. *Soil surface CO2 fluxes and the carbon budget of a grassland*. **Journal of Geophysical Research**, Oklahoma, v. 97, p. 18845- 18853,1992.
- ORLANDO FILHO, J. Calagem e adubação da cana de açúcar. In: CÂMARA, G.M.S.; OLIVEIRA, E.A.M. (Eds). **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: FEALQ/USP, 1993.

p.133-146.

PEREIRA, L. F. M., SILVA, A. H. A., GONÇALVES, E. R., VERISSIMO, V., DA SILVA

photosynthetic CO₂ exchange in the field. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, v. 47, p. 1629–1642, 1996.

PIMENTEL, C. Respostas fisiológicas à falta d'água: limitação difusiva ou metabólica? In: NOGUEIRA, R.J.M.C.; ARAÚJO, E. DE L.; WILLADINO, L.G.; CAVALCANTE,

principles and practices. Paris: **International Fertilizer Industry Association - IFA**, 2013.

Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/235609131_Foliar_Fertilization_Scientific_Principles_and_Field_Practices>. Acesso em: 12 Dez. 2020.

Produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: CP2, 2006. 415 p.

R CORE TEAM. 2020. *R: A language and environment for statistical computing*. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>. Acesso em 18 Nov 2020.

R. O.; Robertson, M. J.; Berthelsen, S. *Response of shoot growth and transpiration to soil drying in sugarcane*. **Plant and Soil**, v.207, p.59-65, 1999.

REMESH, P. *Effect of different levels of drought during the formative phase on growth* Ribeiro JES, AJS Barbosa, SF Lopes, WE Pereira, MB Albuquerque. 2018. Seasonal variation in gas exchange by plants of *Erythroxylum simonis* Plowman. *Acta Botanica Brasílica* 32: 287-296. Doi: <https://doi.org/10.1590/0102-33062017abb0240>

REZENDA P. M.; GRIS, C. F.; CARVALHO, J. G.; GOMES; L. L., BOTTINO, L. **Adução Foliar. I. Épocas de Aplicação de Fósforo na Cultura da Soja**. *Ciênc. agrotec*, Lavras, v. 29, n. 6, p. 1105-1111, nov./dez., 2005.

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

- ROSOLEM, C. A. Adubação foliar. In: **SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA**, 1984, Brasília. Anais. Brasília: Embrapa, 1984.p.419-449.
- SAGE, R.F. *The evolution of C4 photosynthesis. New Phytologist, Berlin*, v. 161, p. 341–370, 2004.
- SANTOS, HG dos; JACOMINE, PKT; ANJOS, LHC dos; OLIVEIRA, VA de; LUMBRERAS, JF; COELHO, MR; ALMEIDA, JA de; CUNHA, TJF; OLIVEIRA, JB. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa,2013. 353p.
- SCARPARI, M. S.; BEAUCLAIR, E. G. F. Physiological model to estimate the maturity of sugarcane. *Scientia Agricola*. v.66, p.622-628, 2009.
- SEGATO, S.V.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.N. Atualização em
- SINGELS, A.; DONALDSON, R. A.; SMIT, M. A. Improving biomass production and partitioning in sugarcane: Theory and practice. **Field Crops Research**, v.92, p.291-303,2005.
- SINGH, R.; GUPTA, O. P.; PATEL, S. K. *Energy Use Pattern and Scenario Change in Sugarcane (ratoon) Cultivation for Bhabar Region of Uttarakhand, India. Journal of AgriSearch*, Patna, v.2, n.2, p.242-245, 2015b.
- SMIT, M.A.; SINGELS, A. *The response of sugarcane canopy development to water stress. Field Crops Research*, Cambridge, v. 98, p. 91-97, 2006.
- Sugarcane To Different Doses Of Zn At Various Growth Stages. Pure and Applied Biology*, Balochistan, v.5, n.2, p.311-316, 2016.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 526 p.
- TRIBUZY, E. S. **Variações da temperatura foliar e do dossel e o seu efeito na taxa assimilatória de CO2 na Amazônia Central**. 2005. 84 f. Tese (Doutorado em Ecologia de

Agroecossistemas) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

U.M.T. (eds.). **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. Recife: UFRPE, 2005.
cap. 1, p. 13-21.

VOZNESENSKAYA, EV, FRANCESCHI, VR, KIIRATS, O., FREITAG, H., & EDWARDS,
GE.

(2001) A anatomia de Kranz não é essencial para a fotossíntese de plantas C 4 terrestres.
Nature, v.414, n. 6863, pág. 543-546, 2001.