JOÃO VITOR TOLEDO

EFEITOS DO ESTRESSE SALINO NO CRESCIMENTO E NA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de Doctor Scientiae.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2016

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T
T649e
2016

Toledo, João Vitor, 1985-
Efeitos do estresse salino no crescimento e na evapotranspiração de cultivares de cana-de-açúcar / João Vitor Toledo. – Viçosa, MG, 2016.
x, 126f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndice.
Orientador: Sérgio Zolnier.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Cana-de-açúcar - Efeito do sal. 2. Cana-de-açúcar - Crescimento. 3. Cana-de-açúcar - Evapotranspiração.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de Pós-graduação em Meteorologia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 633.61

JOÃO VITOR TOLEDO

EFEITOS DO ESTRESSE SALINO NO CRESCIMENTO E NA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de Doctor Scientiae.

APROVADA: 11 de julho de 2016.

Williams Pinto Marques Ferreira

Márcio Henrique Pereira Barbosa

Antonio José Steidle Neto
(Coorientador)

Thieres George Freire da Silva
(Coorientador)

Sérgio Zolnier
(Orientador)

À minha filha Cecília, um presente de Deus.

Aos meus pais, Sebastião e Fátima.

Aos meus irmãos Felipe e Carla.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Ao meu orientador, professor Sérgio Zolnier, pelos grandes ensinamentos, confiança, oportunidade e profissionalismo.

Aos meus coorientadores, Antonio José Steidle Neto e Thieres George Freire da Silva, pelos ensinamentos, amizade, confiança, dedicação, entusiasmo e excepcional profissionalismo.

À Daiany, pela enorme ajuda em diversas campanhas biométricas no experimento, e sua paciência comigo durante todo este tempo.

Às minhas amigas, Marcela e Mariana, que sempre se disponibilizaram em ajudar ao longo do experimento.

Ao meu amigo Hugo, pela ajuda na estatística e várias outras dicas.

À secretária do programa de Pós-Graduação, Graça Freitas, pela amizade construída ao longo o doutorado.

Aos meus amigos da sala “Orientados do Prof. Sérgio”, Gabriela, Poliana e Davi, pelo apoio, amizade e carinho.

Aos demais amigos do Programa de Pós-graduação em Meteorologia Agrícola, pelo apoio.

Aos tios e tias, avó, primos e primas e demais amigos, pelo apoio, carinho e vibrações positivas.

Aos membros da banca de defesa, pelas sugestões.

À Universidade Federal de Viçosa - UFV, pela estrutura de ensino e pesquisa.

À CAPES, pelo incentivo financeiro.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo financiamento do projeto.

MUITO OBRIGADO!

BIOGRAFIA

JOÃO VITOR TOLEDO, filho de Sebastião Jesus Toledo e Joaquina Fátima de Melo Toledo, nasceu em 01 de junho de 1985, na cidade de Guiricema-MG.

Em abril de 2005 iniciou a graduação em Agronomia, pelo Centro de Ciência Agrárias da Universidade Federal do Espirito Santo (CCA-UFES), no município de Alegre-ES. Durante quatro anos, participou de atividades de iniciação cientifica, sendo bolsista de iniciação cientifica durante dois anos.

Iniciou o mestrado pelo programa de Pós-graduação em Produção Vegetal do CCA-UFES em 2010, onde pesquisou sobre déficit hídrico no crescimento inicial de clones de eucalipto, submetendo-se a defesa em 24/01/2012.

Em agosto de 2012, ingressou no programa de Pós-graduação em Meteorologia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa- UFV, Viçosa-MG, em nível de doutorado, submetendo-se à defesa de tese em 11 de julho de 2016.

SUMÁRIO

RESUMO vii
ABSTRACT ix
INTRODUÇÃO GERAL 1
OBJETIVOS 5
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 6

CAPÍTULO I

REDUÇÃO NO CRESCIMENTO DE CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR COM A INTENSIFICAÇÃO DO ESTRESSE SALINO

RESUMO 12
1. INTRODUÇÃO 15
2. MATERIAL E MÉTODOS 17
2.1. Local e técnicas de cultivo da cana-de-açúcar 17
2.2. Aplicação dos níveis de salinidade e monitoramento das variáveis meteorológicas 23
2.3. Interface do programa computacional de aquisição e armazenamento de dados 26
2.4. Campanhas biométricas 30
2.5. Avaliação da estatura dos colmos e da área foliar ao longo do tempo ... 32
2.6. Variáveis morfológicas analisadas ao final do experimento 34
2.7. Análise estatística 35
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO 36
3.1. Variáveis meteorológicas 36
3.2. Fator de forma 38
3.3. Análises ao longo do tempo 40
3.3.1. Variação da área foliar 40
3.3.2. Variação da estatura dos colmos 48
3.4. Análises morfológicas de cultivares de cana-de-açúcar ao final do experimento 54
4. CONCLUSÕES 70
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 72

CAPÍTULO II

ALTERAÇÕES NA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR SOB DISTINTOS NÍVEIS DE SALINIDADE APLICADOS NA FERTIRRIGAÇÃO

RESUMO 80
1. INTRODUÇÃO 83
2. MATERIAL E MÉTODOS 85
2.1. Local e técnicas de cultivo da cana-de-açúcar 85
2.2. Aplicação dos níveis de salinidade e coleta da solução lixiviada 87
2.3. Monitoramento das variáveis meteorológicas e da evapotranspiração ... 90
2.4. Análise estatística 92
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO 92
3.1. Variáveis meteorológicas 92
3.2. Efeito da salinidade na evapotranspiração diurna 94
3.3. Efeito da salinidade na taxa de evapotranspiração horária 98
3.4. Efeito da salinidade na evapotranspiração no período de maior demanda de água da atmosfera 102
4. CONCLUSÕES 105
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 106

CONSIDERAÇÕES FINAIS 109
APÊNDICE 110

RESUMO

TOLEDO, João Vitor, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2016. **Efeitos do estresse salino no crescimento e na evapotranspiração de cultivares de cana-de-açúcar**. Orientador: Sérgio Zolnier. Coorientadores: Antonio José Steidle Neto e Thieres George Freire da Silva.

Muitos estudos têm demonstrado que a cana-de-açúcar possui elevada produtividade quando submetida a condições ambientais ideais, como altas temperaturas, elevados níveis de radiação solar e adequada disponibilidade hídrica. Porém, avaliações da resposta da cultura em condições salinas são escassas na literatura. Assim, o objetivo desta pesquisa foi avaliar os efeitos do estresse salino no crescimento e na evapotranspiração de cultivares de cana-de-açúcar. O experimento foi conduzido em uma casa-de-vegetação do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, usando o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 4x4, no qual o primeiro fator consistiu de cultivares de cana-de-açúcar e o segundo de níveis de salinidade. As cultivares utilizadas foram a RB867515, RB855453, RB92579 e RB928064, sendo cultivadas sob quatro níveis de salinidade estabelecidos pela adição de 0, 50, 100 e 150 mM L^{-1} de Cloreto de Sódio (NaCl) à solução nutritiva. Os valores correspondentes da condutividade elétrica foram 3, 6, 10 e 13 dS m^{-1}, respectivamente. O modelo de crescimento sigmoidal foi ajustado aos valores observados de estatura dos colmos, demonstrando que a cana-de-açúcar alcançou 250, 243, 239 e 221 cm sob 3 dS m^{-1} no final do período experimental, respectivamente para as cultivares RB867515, RB92579, RB855453 e RB928064. No entanto, plantas cultivadas sob 13 dS m^{-1}, cujo o nível de salinidade foi imposto pela adição de 150 mM L^{-1} de NaCl à solução nutritiva, apresentaram valores reduzidos da taxa de elongação do colmo em relação aos obtidos sem a adição de NaCl, com reduções de 53% para a cultivar RB928064 e de 47% para as demais. A salinidade da solução nutritiva promoveu reduções em todas as variáveis morfológicas ao final do experimento ($p<0,05$). Quando comparadas com a RB92579 e RB928064, a cultivar RB867515 apresentou valores significativamente maiores para as variáveis massa fresca do colmo e volume total de internódios. Verificou-se que o aumento da

concentração de NaCl na solução nutritiva diminuiu linearmente a evapotranspiração de todas as cultivares de cana-de-açúcar ($p<0,05$). Avaliações do uso de água sob reduzida nebulosidade mostraram as maiores taxas e os maiores declínios da evapotranspiração entre os níveis de salinidade, com 48,5 g planta^{-1}CE^{-1}. Sob altas demandas de água pela atmosfera, as taxas de evapotranspiração da cultivar RB867515 foram as únicas a não serem afetadas significativamente quando o nível de salinidade aumentou de 3 para 6 dS m^{-1}. Os resultados indicaram que o período entre 11:00 e 14:00 horas é o mais apropriado para avaliações do efeito da salinidade em diferentes cultivares de cana-de-açúcar. Além disso, foi observado que a cultivar RB867515 apresentou melhores respostas de crescimento e menor decréscimo da evapotranspiração sob os níveis de salinidade impostos.

ABSTRACT

TOLEDO, João Vitor, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2016. **Effects of salt stress on growth and evapotranspiration of sugarcane cultivars.** Adviser: Sergio Zolnier. Co-Advisers: Antonio José Steidle Neto and Thieres George Freire da Silva.

Many studies have demonstrated that sugarcane has high productivity when subjected to ideal environmental conditions such as high temperatures, elevated solar radiation levels and adequate water supply. However, crop response evaluations under saline conditions are scarce in the literature. Thus, the objective of this research was to evaluate the salt stress effects on growth and evapotranspiration of sugarcane cultivars. The experiment was conducted in a greenhouse of the Agricultural Engineering Department at the Federal University of Viçosa, using a completely randomized design with a 4x4 factorial arrangement, in which the first factor consisted of sugarcane cultivars and the second one of salinity levels. The sugarcane cultivars were RB867515, RB855453, RB92579 and RB928064, which were cultivated under four salinity levels established by adding 0, 50, 100 and 150 mM L^{-1} of Sodium chloride (NaCl) to the nutrient solution. The corresponding values of the electrical conductivity (EC) were 3, 6, 10 and 13 dS m^{-1}, respectively. The sigmoidal growth model was adjusted to observed values of stem heights, demonstrating that sugarcane reached 250, 243, 239 and 221 cm under 3 dS m^{-1} at the end of the experimental period, respectively for cultivars RB867515, RB92579, RB855453 and RB928064. However, plants cultivated under 13 dS m^{-1}, whose salinity level was imposed by adding 150 mM L^{-1} of NaCl to the nutrient solution, presented lower values of stem elongation rates as compared to those obtained without NaCl, with 53% of reductions for the RB928064 cultivar and 47% for the others. Salinity of the nutrient solution promoted reductions in all morphological variables at the end of the experiment ($p < 0.05$). When compared to RB92579 and RB928064, the RB867515 cultivar presented significantly greater values for the variables stem fresh mass and total volume of internodes. It was verified that increased values of the NaCl concentration in the nutrient solution linearly decreased the evapotranspiration of all sugarcane cultivars ($p < 0.05$). Evaluations of the water

use under reduced cloud cover showed the highest rates and the largest evapotranspiration declines among salinity levels, with 48.5 g plant^{-1}CE^{-1}. Under high atmospheric water demand, evapotranspiration rates of the RB867515 cultivar were the only ones which were not significantly affected when the salinity levels increased from 3 to 6 dS m^{-1}. The results indicated that the period between 11:00 am and 02:00 pm is the most appropriate for evaluation of the salt stress effect on different sugarcane cultivars. In addition, it was observed that RB867515 cultivar presented the best growth responses and lower evapotranspiration reductions under the imposed salt stress levels.

INTRODUÇÃO GERAL

A utilização de alternativas energéticas renováveis possibilita o desenvolvimento sustentável, além de prolongar a existência das reservas de combustíveis fósseis (YUAN et al., 2008; FRANCO et al., 2011). O uso de biocombustíveis, visando à substituição do petróleo, do gás natural e do carvão mineral, tem sido incentivado nos últimos anos para atenuar possíveis alterações climáticas constatadas a partir da Era Industrial (BERMANN, 2008). Por outro lado, o uso de combustíveis renováveis também promove a segurança energética, a criação de empregos e o desenvolvimento rural (MAPA, 2016).

O cultivo da cana-de-açúcar tem o potencial de minimizar os problemas da utilização de energias renováveis, atuando principalmente por meio da produção do álcool, combustível que emite menor quantidade de monóxido de carbono na atmosfera, se comparado aos combustíveis sintetizados a partir do petróleo (BERMANN, 2008). Além disso, as agroindústrias, que fazem o processamento da cana-de-açúcar, podem produzir a própria energia elétrica pela queima do bagaço gerado, e também serem a capazes de comercializar o excedente, abastecendo regiões adjacentes (PROCÓPIO et al., 2014).

Nos últimos anos verifica-se que a produção de cana-de-açúcar vem apresentando forte crescimento, tanto em área e em produção. No Brasil, na safra 2015/16, a área cultivada compreendeu cerca de 8,65 milhões de hectares, com produção próxima de 666 milhões de toneladas, apresentando incremento de 4,9% em relação à safra passada (CONAB, 2016). Entretanto, de acordo com AGUIAR & SOUZA (2014), na última década a ocupação do uso da terra pela cana-de-açúcar vem competindo, principalmente, com as culturas da soja, arroz,

feijão, milho e café, todavia, os autores comentam sobre a necessidade de expansão da cana-de-açúcar em novas áreas, sem haver a substituição de outras culturas, para que no futuro a produção de alimentos não seja afetada.

Nesse sentido, considerando o metabolismo C4 da cana-de-açúcar, o plantio em locais com condições de alta temperatura, radiação solar e disponibilidade hídrica são favoráveis, e proporcionam elevadas taxas de produtividade (SILVA et al., 2011; ANTUNES et al., 2016). Porém, regiões que possuem condições climáticas com valores elevados de temperatura do ar e de radiação solar, geralmente, sofrem com a escassez de água, sendo regiões secas e denominadas de áridas ou semiáridas. Desta forma, recomenda-se para uma boa produtividade a utilização da irrigação, a qual é dependente da quantidade e qualidade da água utilizada (SANTANA et al., 2007).

Nas regiões semiáridas a escassez de água é decorrente da baixa ocorrência de precipitação, que acontecem com distribuição irregular no tempo e no espaço (FROTA JÚNIOR et al., 2007). Este fato acarreta na criação de vários reservatórios para armazenamento d'água para múltiplos usos, principalmente, durante os períodos de estiagem (PALÁCIO et al., 2011). Todavia, nesse período a demanda atmosférica é alta e ocorrem elevadas taxas de evaporação, o que aumenta a concentração de íons, tanto na água como no solo, tornando-os salinos, e a água desses reservatórios é afetada para o consumo humano e/ou na agricultura (MEIRELES et al., 2007). Além disso, pode ocorrer elevação do lençol freático com água salina em decorrência de infiltrações nos reservatórios (PEDROTTI et al., 2015). Também, os próprios solos destas regiões já apresentam problemas de salinidade provenientes de seu processo de formação (RIBEIRO et al., 2003).

Pesquisadores já verificaram que o manejo incorreto da irrigação, principalmente pela utilização de água com altos teores de íons dissolvidos, agrava ainda mais a salinização destes solos, devido ao aumento da deposição de sais nas áreas irrigadas, e a ausência ou deficiência de drenagem adequada para lixiviar o excesso de íons (ARAGUÉS & TANJI, 2003; CAUSAPÉ et al., 2004; FROTA JÚNIOR et al., 2007; GARCÍA-GARIZÁBAL & CAUSAPÉ, 2010; PEDROTTI et al., 2015). Portanto, observa-se uma tendência à salinização dos recursos solo e água, sendo inerente às características climáticas e geológicas dessas regiões, e agravada pelo manejo da irrigação (CHOUDHARY et al., 2006; SIVAKUMAR, 2007; LEAL et al., 2009; GIMENO et al., 2012). As elevadas taxas de evapotranspiração, as baixas lâminas pluviométricas anuais e a salinidade natural não podem ser modificadas e, sim, devem ser aceitas (ANDRADE, 2009).

De acordo com MUNNS & TESTER (2008), quando uma planta é cultivada sob condição de salinidade, o principal efeito, de causa imediata, será a redução do potencial osmótico, dificultando a absorção de água pelas raízes; e um segundo efeito, sendo observado com o decorrer do tempo, será a toxidez por acúmulo de íons, como os de sódio (Na^+). Nesta condição de estresse, o crescimento e desenvolvimento das culturas sofrem reduções, com consequente perda de produtividade (PATADE et al., 2011; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Na literatura, trabalhos com salinidade geralmente são realizados pela adição de sais na água de irrigação, e a metodologia amplamente utilizada para o manejo da salinidade é por meio do monitoramento da condutividade elétrica da solução aplicada (SILVA et al., 2009; STEIDLE NETO et al., 2014; SANTOS JÚNIOR et al., 2016; SIMÕES et al., 2016). Outro aspecto importante a ser destacado em trabalhos deste tipo é o cultivo em vasos, o qual permite uma

aplicação da salinidade de forma homogênea e com maior controle. Já em condições de campo, a aplicação homogênea de diferentes níveis de salinidade se torna algo complexo e trabalhoso, por exemplo, a cultura da cana-de-açúcar pode apresentar crescimento do sistema radicular em mais de 6 metros de profundidade (SMITH et al., 2005; LACLAU & LACLAU, 2009).

Medidas biométricas, como altura e largura do dossel, diâmetro de caule/colmo, comprimentos e larguras foliares, área foliar, números de folhas verdes e volume total de internódios são alguns indicadores usados por diversos pesquisadores para inferir se a uma planta sofreu ou está sob uma condição de estresse (PARIDA & DAS, 2005; CHA-UM & KIRDMANEE, 2009; ENDRES et al., 2010; ZHAO et al., 2010; SILVA et al., 2011; SILVA et al., 2012a; BATISTA et al., 2015; SIMÕES et al., 2016).

A escolha de cultivares, com base nos melhores indicadores biométricos, permite a seleção daqueles mais adaptados, quanto à tolerância às condições de estresse (ENDRES et al., 2010; GONÇALVES et al., 2010; GILBERT et al., 2011; SILVA et al., 2012b), sendo uma prática de grande importância para a obtenção de altas produtividades em meio à limitação ambiental (KIM et al., 2006). No caso da cana-de-açúcar, pelo seu plantio em regiões propícias à ocorrência de estresses abióticos, como a salinidade, se justifica ainda mais o estudo do comportamento morfológico nestas condições.

OBJETIVOS

Objetivo geral

Avaliar os efeitos do estresse salino sobre o crescimento e evapotranspiração de cultivares de cana-de-açúcar, para fornecer subsídios para trabalhos pertinentes à seleção de genótipos mais tolerantes em áreas afetadas pelo estresse salino.

Objetivos específicos

1. Implementar um sistema automatizado para aquisição dos dados, em tempo real, das variáveis meteorológicas do ambiente de cultivo, além do controle da frequência e da duração da fertirrigação, associada aos diferentes níveis de salinidade, durante o período experimental;
2. Monitorar as alterações do crescimento das plantas após a imposição dos diferentes níveis de salinidade, a partir de indicadores biométricos;
3. Quantificar as variações morfológicas a partir de dados obtidos ao término do período experimental.
4. Monitorar a evapotranspiração das cultivares de cana-de-açúcar em condições meteorológicas distintas, caraterizadas principalmente por alterações da nebulosidade, representativas de dias típicos com valores elevados e amenos de radiação solar, temperatura do ar e déficit de pressão de saturação de vapor d’água no ar;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, C. de J.; SOUZA, P. M. de. Sugar cane expansion and the production of other agricultural goods in the last decade: an analysis of the main producing states. **Revista Econômica**. Fortaleza - NE, v.45, n.2, p.88-100, 2014.

ANDRADE, E.M. de. A irrigação e suas implicações sobre o capital natural em regiões áridas e semi-áridas: uma revisão. **Revista Ceres**. v.56, n.4, p.390-398, 2009.

ANTUNES, W.R.; SCHÖFFEL, E.R.; SILVA, S.D. dos A. e; EICHOLZ, E.; HÄRTER, A. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de clones de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.51, n.2, p.142-148, 2016.

ARAGUÉS, R.; TANJI, K.K. Water quality of irrigation return flows. In: Stewart, B.A., Howell, T.A. (Ed.), **Encyclopedia of Water Science**. Marcel Dekker, NY, USA, p. 502-506, 2003.

BATISTA, E.L.da S.; ZOLNIER, S.; RIBEIRO, A.; LYRA, G.B.; SILVA, T.G.G.da S.; BOEHRINGER, D. Avaliação do efeito do estresse hídrico no crescimento de cultivares de cana-de-açúcar usando um sistema automático de fertirração. **Engenharia Agrícola** (Online), v.35, n.2 p. 215-229, 2015.

BERMANN, C. Crise ambiental e as energias renováveis. **Ciência e Cultura**. São Paulo, v.60, n.3, p.20-29, 2008.

CAUSAPÉ, J.; QUÍLEZ, D.; ARAGUÉS, R. Assessment of irrigation and environmental quality at the hydrological basin level II. Salt and nitrate loads in irrigation return flows. **Agricultural Water Management**, v.70, p.211-228, 2004.

CHA-UM, S.; KIRDMANEE, C. Proline accumulation, photosynthetic abilities and growth characters of sugarcane (Saccharum officinarum L.) plantlets in response to iso-osmotic salt and water-deficit stress. **Agricultural Sciences in China**, v.8, n.1, p.51-58, 2009.

CHOUDHARY, O.P.; GHUMAN, B.S.; JOSAN, A.S.; BAJWA, M.S. Effect of alternating irrigation with sodic and non-sodic waters on soil properties and sunflower yield. **Agricultural Water Management**, v.85, p.151-156, 2006.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. v.2, n.4, Brasília, 2016, p.76.

ENDRES, L.; SILVA, J. V.; FERREIRA, V. M.; BARBOSA, G. V. S. Photosynthesis and Water Relations in Brazilian Sugarcane. **The Open Agriculture Journal**, v.4, p.31-37, 2010.

FRANCO, H. C. J.; OTTO, R.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; OLIVEIRA, E. C. A. de; TRIVELIN, P. C. O. Nitrogen in sugarcane derived from fertilizer under Brazilian field conditions. **Field Crops Research**, v.121, p.29-41, 2011.

FROTA JÚNIOR, J.I.; ANDRADE, E.M.; MEIRELES, A.C.M.; BEZERRA, A.M.; SOUZA, B.F.S. Influência antrópica na adição de sais no trecho perenizado da bacia hidrográfica do Curu, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v.38, p.142-148, 2007.

GARCÍA-GARIZÁBAL, I.; CAUSAPÉ, J. Influence of irrigation water management on the quantity and quality of irrigation return flows. **Journal of Hydrology**, v.385, p.36-43, 2010.

GILBERT, M., ZWIENIECKI, M., HOLBROOK, N. Independent variation in photosynthetic capacity and stomatal conductance leads to differences in intrinsic

water use efficiency in eleven soybean genotypes before and during mild drought. **Journal of Experimental Botany**. v. 62, n. 8, p. 2875-2887, 2011.

GIMENO, V.; SYVERTSEN, J. P.; SIMÓN, I.; NIEVES M, DÍAZ-LÓPEZ, L.; MARTÍNEZ, V.; GARCÍA-SÁNCHEZ, F. Physiological and morphological responses to flooding with fresh or saline water in Jatropha curcas. **Environ Exp Bot**, v.78, p.47-55, 2012.

GONÇALVES, E. R.; FERREIRA, V. M.; SILVA, J. V.; ENDRES, L.; BARBOSA, T. P.; DUARTE, W. G. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** Campina Grande, PB, v.14, n.4, p.378-386, 2010.

KIM, S. H.; SICHER, R. C.; BAE, H.; GITZ, D. C.; BAKER, J. T.; TIMLIN, D.; REDDY, V. R. Canopy photosynthesis, evapotranspiration, leaf nitrogen, and transcription profiles of maize in response to CO_2 enrichment. **Global Change Biology**, Oxford, v. 12, p. 588-600, 2006.

LACLAU, P.B.; LACLAU, J.P. Growth of the whole root system for a plant crop of sugarcane under rainfed and irrigated environments in Brazil. Field Crops Research, Amsterdam, v.114, p.351-360, 2009.

LEAL, R. M. P.; HERPIN, U.; FONSECA, A. F. da; FIRME, L. P.; MONTES, C. R.; MELFI, A. J. Sodicity and salinity in a Brazilian Oxisol cultivated with sugarcane irrigated with wastewater**. Agric. Water. Manage**, v.96, p.307-316, 2009.

MEIRELES, A.C.M.; FRISCHKORN, H.; ANDRADE, E.M. Sazonalidade da qualidade das águas do açude Edson Queiroz, Bacia do Acaraú, no Semiárido cearense. **Revista Ciência Agronômica**, v.38, p.25-31, 2007.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. Disponível em: <www.agricultura.gov.br> Acesso em 16 de março de 2016.

MUNNS, R., TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v.59, p.651-681, 2008.

PALÁCIO, H.A.Q., ARAUJO NETO, J.R., MEIRELES, A.C.M., ANDRADE, E.M., SANTOS, J.C.N., & CHAVES, L.C.G. Similarity and determining factors in the salinity of surface waters of Ceara by multivariate techniques. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 15, 395–402, 2011.

PARIDA, A. K.; DAS, A. B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.60, p.324-349, 2005.

PATADE, V.Y.; BHARGAVA, S.; SUPRASANNA, P. Salt and drought tolerance of sugarcane under iso-osmotic salt and water stress: growth, osmolytes accumulation, and antioxidant defense. **Journal of Plant Interactions**, v.6, n.4, 2011.

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R.M.; RAMOS, V.C.; PRATA, A.P. do N.; LUCAS, A.A.T.; SANTOS, P.B. dos. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**. Santa Maria, v.19, n.2, p.1308-1324, 2015.

PROCÓPIO, S. de O.; FERNANDES, M.F.; TELES, D.A.; SENA FILHO, J.G.; CARGNELUTTI FILHO, A.; RESENDE, M.A.; VARGAS, L. Toxicidade de herbicidas utilizados na cultura da cana-de-açúcar à bactéria diazotrófica Herbaspirillum seropedicae. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.35, n.5, p.2383-2398, 2014.

RIBEIRO, M. R.; FREIRE, F. J.; MONTENEGRO, A. A. A. 2003. Solos halomórficos no Brasil: Ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo

sustentável. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S; ALVAREZ, V. H. (eds.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.3, p.165-208.

SANTANA, M.J. de, CARVALHO, J. de A., SOUZA, K.J. de, SOUSA, A.M.G. de, VASCONCELOS, C.L.; ANDRADE, L.A. de B. Efeitos da salinidade da água de irrigação na brotação e desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar (Saccharum spp) e em solos com diferentes níveis texturais. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, n.5, p.1470-1476, 2007.

SANTOS JÚNIOR, J.A.; GHEYI, H.R.; CAVALCANTE, A.R.; DIAS, N. da S.; MEDEIROS, S. de S. Produção e pós-colheita de flores de girassóis sob estresse salino em hidroponia de baixo custo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.36, n.3, p.420-432. 2016.

SILVA, P. P.; SOARES, L.; COSTA, J. G.; VIANA, L. S.; ANDRADE, J. C. F.; GONÇALVES, E. R.; SANTOS, J. M.; BARBOSA, G. V. S.; NASCIMENTO, V. X.; TODARO, A. R.; RIFFEL, A.; GROSSI-DE-SA, M. F.; BARBOSA, M. H. P.; SANT'ANA, A. E. G.; RAMALHO NETO, C. E. Path analysis for seletion of drought tolerant sugarcene genotypes through physiological componentes. **Industrial Crops and Products**. v.37, p. 11-19, 2012b.

SILVA, T. G. F. da. ZOLNIER, S.; GROSSI, J. A. S.; BARBOSA, J. G.; MOURA, C. R. W.; MUNIZ, M. A. Crescimento do girassol ornamental cultivado em ambiente protegido sob diferentes níveis de condutividade elétrica de fertirrigação. **Revista Ceres**, Viçosa, v.56, n.5, p.602-610, 2009.

SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B.; ZOLNIER, S.; CARMO, J. F. A.; SOUZA, L. S. B. Biometria da parte aérea da cana soca irrigada no Submédio do Vale do São Francisco. **Revista Ciência Agronômica** (Online), v.43, p.500-509, 2012a.

SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B.; ZOLNIER, S.; SOARES, J. M.; VIEIRA, V. J. de S.; GOMES JÚNIOR, W. F. Demanda hídrica e eficiência do uso de água da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 12, p. 1257-1265, 2011.

SIMÕES, W.L.; CALGARO, M.; COELHO, D.S.; SANTOS, D.B. dos; SOUZA, M.A. Growth of sugar cane varieties under salinity. **Revista Ceres**, Viçosa, v.63, n.2, p.265-271, 2016.

SIVAKUMAR, M. V. K. Interactions between climate and desertification. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.142, p.143-155, 2007.

SMITH, D.M.; INMAN-BAMBER, N.G.; THORBURN, P.J. Growth and function of the sugarcane root system. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.92, p.169-183, 2005.

STEIDLE NETO, A.J.; ZOLNIER, S.; LOPES, D. de C. Development and evaluation of an automated system for fertigation control in soilless tomato production. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v.103, p.17-25, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 5. ed., 2013. 954p.

YUAN, J.S.; TILLER, K.H.; AL-AHMAD, H.; STEWART, N.R.; STEWART JUNIOR, C.N. Plants to power: bioenergy to fuel the future. **Trends in Plant Science**, London, v.18, p. 421-429, 2008.

ZHAO, D.; GLAZ, B.; COMSTOCK, J. C. Sugarcane Response to Water-Deficit Stress during Early Growth on Organic and Sand Soils. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, v.5, p.403-414, 2010.

CAPÍTULO I

REDUÇÃO NO CRESCIMENTO DE CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR COM A INTENSIFICAÇÃO DO ESTRESSE SALINO

RESUMO

Regiões caracterizadas por altas temperaturas e valores elevados de radiação solar, os quais são ideais para o aumento da produtividade da cana-de-açúcar, geralmente apresentam problemas com a salinidade. Respostas do crescimento e da morfologia dessa cultura, quando submetida ao estresse salino, são escassas na literatura. O objetivo desta pesquisa foi avaliar os efeitos do estresse salino nas variáveis de crescimento de cultivares de cana-de-açúcar. O experimento foi conduzido em uma casa-de-vegetação do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. As plantas de cana-de-açúcar foram cultivadas usando o delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial 4x4. O primeiro fator foi constituído de quatro cultivares de cana-de-açúcar, denominadas RB867515, RB855453, RB92579 e RB928064, e o segundo fator de quatro níveis de salinidade, estabelecidos pela adição de 0, 50, 100 e 150 mM L^{-1} de Cloreto de Sódio (NaCl) à solução nutritiva. Os valores de condutividade elétrica correspondentes aos níveis de salinidade impostos foram 3, 6, 10 e 13 dS m^{-1}, respectivamente. As taxas de elongação do colmo e de expansão foliar diminuíram com o incremento dos níveis de salinidade, sendo que o tratamento com 13 dS m^{-1} afetou o crescimento das plantas imediatamente após o início da aplicação do estresse salino. As plantas cultivadas sob 13 dS m^{-1} apresentaram os menores valores das taxas de elongação em comparação com aquelas obtidas sem adição de NaCl, com reduções de 53% para a

RB928064 e de 47% paras as demais cultivares. Além disso, a adição de NaCl promoveu reduções em todas as variáveis de crescimento avaliadas ao final do experimento. Quando comparadas com a RB92579 e RB928064, a cultivar RB867515 apresentou valores significativamente maiores para as variáveis massa fresca do colmo e volume total de internódios. Em média, a condutividade elétrica de 13 dS m^{-1} provocou reduções próximas de 55% da massa fresca dos colmos das quatro cultivares em relação às plantas mantidas sob 3 dS m^{-1}. As cultivares RB867515 e RB928064 apresentaram as maiores reduções da área foliar, porém não ocorreram reduções proporcionais nas outras variáveis. Em geral, a cultivar RB867515 exibiu as menores reduções das variáveis de crescimento com o aumento dos valores do estresse salino.

PALAVRAS-CHAVE: condutividade elétrica, salinização, Saccharum officinarum, taxas de crescimento.

REDUCTION IN SUGARCANE CULTIVARS GROWTH WITH INTENSIFICATION OF STRESS SALINE

ABSTRACT

Regions characterized by high temperatures and elevated values of solar radiation, which are ideal for increasing the sugarcane productivity, often have problems with salinity. Growth and morphology responses of this crop when subjected to salt stress conditions are scarce in the literature. The objective of this research was to evaluate the salt stress effects on growth variables of

sugarcane cultivars. The experiment was carried out in a greenhouse of the Agricultural Engineering Department at the Federal University of Viçosa. Sugarcane plants were cultivated using a completely randomized design in a factorial arrangement 4x4. The first factor consisted of the RB867515, RB855453, RB92579 and RB928064 sugarcane cultivars, and the second factor was different salinity levels, which were imposed by using nutrient solutions with the electrical conductivities of 3, 6, 10 and 13 dS m^{-1}. Stem elongation rates and leaf area expansion rates changed with increased salinity levels, and the 13 dS m^{-1} treatment affected plant growth immediately after application of the salt stress. Plants cultivated under 13 dS m^{-1} presented lower values of stem elongation rates compared to those obtained without NaCl, with 53% of reductions for the RB928064 cultivar and 47% for the others. Furthermore, the addition of NaCl promoted reductions in all growth variables studied at the end of the experiment. When compared to RB92579 and RB928064, the RB867515 cultivar presented significantly greater values for the variables stem fresh mass and total volume of internodes. On the average, the electrical conductivity of 13 dS m^{-1} caused reductions near 55% of the stem fresh mass of the four cultivars as related to plants maintained under 3 dS m^{-1}. The RB867515 and RB928064 cultivars presented the largest reductions of the leaf area, but no proportional reductions occurred in the other variables. In general, the RB867515 cultivar exhibited the smallest reductions of the growth variables with increased values of the salt stress.

KEYWORDS: electrical conductivity, salinity, Saccharum officinarum, growth rate.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a área plantada com cana-de-açúcar no Brasil referente à safra 2015/16, está estimada em torno de 8,65 milhões de hectares, que representa um pequeno decréscimo na ordem de 3,9% em relação à safra anterior. O principal motivo apontado a essa queda na área cultivada é relacionada a problemas com a disponibilidade hídrica, especialmente na região Nordeste (CONAB, 2016). Associado a este problema, existe o da salinidade, característicos em regiões do semiárido, como a do Nordeste (ANDRADE, 2009).

Sabe-se que a maior parte do plantio da cana-de-açúcar ocorre em regime de sequeiro, e assim, algumas regiões que têm as maiores ocorrências de restrição hídrica, necessitam utilizar a irrigação como garantia de uma boa produtividade (SILVA et al., 2014). Porém, nos cultivos conduzidos em regiões de semiárido, onde geralmente apresentam água com excessiva quantidade de íons dissolvidos, a irrigação pode ocasionar ou até mesmo, intensificar a salinidade no solo (SANTANA et al., 2007; SIMÕES et al., 2016). Dessa forma, detectar a existência de variação genotípica, entre diferentes cultivares em resposta ao estresse por salinidade, serve como base para o melhoramento genético visando a obtenção de cultivares tolerantes à salinidade (PAGARIYA et al., 2012; SILVEIRA et al., 2012; AUGUSTINE et al., 2015; ANTUNES et al., 2016).

De acordo com INMAN-BAMBER & SMITH (2005), a cana-de-açúcar estará mais suscetível a danos na produção de fitomassa e no rendimento de sacarose, quando as plantas estiverem sob estresse na fase de alongamento dos colmos. Além disso, a intensidade do efeito negativo do estresse salino é

dependente da duração da exposição da planta ao estresse (JULKOWSKA & TESTERINK, 2015), pois ao longo do tempo pode apresentar toxidez por acúmulo de íons (MUNNS & TESTER, 2008). Sendo assim, pesquisas para identificar cultivares mais tolerantes terão melhor respaldo ao avaliarem o comportamento do crescimento da cultura durante os períodos mais agravantes.

Uma maneira de selecionar cultivares adaptadas ao estresse salino é a partir da identificação dos padrões de crescimento. SIMÕES et al. (2016), estudando dez cultivares de cana-de-açúcar em seis níveis de salinidade, verificaram diferença significativa entre elas para algumas das variáveis morfológicas, i.e. altura, área foliar e número de folhas verdes, enquanto outras variáveis não apresentaram diferença significativa. Assim, as avaliações de diferentes variáveis morfológicas fornecem subsídios na escolha das cultivares mais tolerantes.

Em condições de campo, devido à grande capacidade de crescimento do sistema radicular da cana-de-açúcar (SMITH et al., 2005; LACLAU & LACLAU, 2009), torna-se inviável a aplicação de tratamentos com diferentes níveis de salinidade. Em decorrência deste fato, há dificuldades experimentais para a homogeneização do grande volume de solo em questão. Desta forma, uma prática amplamente utilizada por pesquisadores, para obter o melhor controle do ambiente de cultivo, é o plantio em vasos no interior da casa-de-vegetação e a utilização de fertirrigação (TRENTIN et al., 2011; BOEHRINGER et al., 2013; BATISTA et al., 2015). A aplicação da salinidade, por sua vez, pode ser implementada por meio do monitoramento da condutividade elétrica (CE) da solução aplicada e, ou, lixiviada (SILVA et al., 2009; STEIDLE NETO et al., 2014; SILVA et al., 2015; SANTOS JÚNIOR et al., 2016).

Com base no exposto, a realização dessa pesquisa teve por objetivo analisar o comportamento do crescimento de cultivares de cana-de-açúcar, por meio da taxa de incremento em altura e em área foliar, e da análise das variáveis morfológicas ao final do período experimental, sob a influência de diferentes níveis de estresse salino, durante o período de formação da cultura.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local e técnicas de cultivo da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar foi cultivada em casa-de-vegetação não climatizada localizada em área experimental do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa-MG. O local do experimento está situado na latitude de 20°45’45” S, longitude de 42º52’04” O e altitude 690 m. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é Cwa (clima temperado quente - mesotérmico; chuvoso no verão e seco no inverno).

A estrutura metálica de cobertura da casa de vegetação era do tipo arco, sobre a qual foi fixada uma camada de filme de polietileno de baixa densidade (PEBD) com espessura de 150 μm. As paredes laterais eram formadas por tela plástica, tipo sombrite, na cor branca com 1 mm de espessura, parafusados em peças metálicas de aço galvanizado. O piso da casa de vegetação era de pedra brita, o que contribuía para a melhor assepsia e erradicação de plantas invasoras no interior do ambiente. A instalação, orientada no sentido Nordeste-Sudoeste, apresentava 15 m de comprimento e 7 m de largura, totalizando uma área de 105 m², com pé direito lateral de 2,8 m.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 4 com três repetições. O primeiro fator foi constituído por quatro cultivares de cana-de-açúcar (RB867515, RB855453, RB92579 e RB928064), e o segundo, por diferentes níveis de salinidade aplicados na solução de fertirrigação. Esses níveis de salinidade foram estabelecidos pela adição de aproximadamente 0, 50, 100 e 150 mM L^{-1} de Cloreto de Sódio (NaCl) à solução de fertirrigação.

Dentre as cultivares utilizadas, cada uma apresenta características distintas, sendo a RB867515 e a RB92579 amplamente difundida no Brasil e no Nordeste, respectivamente, e ambas consideradas tolerantes ao déficit hídrico. Por outro lado, as cultivares RB855453 e RB928064, utilizadas comercialmente em algumas regiões, são consideradas, medianamente tolerantes e suscetíveis ao déficit hídrico, respectivamente. A RB867515 e a RB92579 são de grande importância para a Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro-RIDESA, devido a maior produtividade alcançada, sendo utilizadas no melhoramento genético para obtenção de novas cultivares (RIDESA, 2010).

No dia 13/12/2014, três pequenos segmentos do colmo de cana-de-açúcar, possuindo individualmente uma gema, foram plantados em vasos plásticos com capacidade de 15 litros, os quais foram preenchidos com 13 L de substrato comercial (Bioplant, Nova Ponte, MG) à base de casca de pinus e arroz, esterco, serragem, fibra de coco, vermiculita, cinza, gesso agrícola e complementos minerais (NPK e micronutrientes). A escolha por uso de substrato, em vez de solo, foi devido à sua característica de produto estável (informado pelo fabricante). Assim, ao longo do período experimental, as propriedades

físicas e químicas sofrem pequenas alterações (WALLACH, 2008), proporcionando homogeneidade quanto a aplicação dos tratamentos.

Os fundos dos vasos possuíam um orifício com 2,3 cm de diâmetro para permitir a drenagem do excesso da solução nutritiva proveniente da fertirrigação. Para evitar perda do substrato, foi adicionada uma tela plástica com malha de 1 mm e diâmetro de 16 cm, acima do orifício. Entre a tela e o substrato, foram depositados 500 ml de carvão vegetal, visando facilitar a drenagem lateral na parte inferior do vaso de cultivo.

Depois de 30 dias após o plantio (DAP), foi realizado o desbaste das plantas, mantendo apenas uma unidade por vaso e eliminando as que não apresentavam características morfológicas semelhantes (Figura 1). Até aos 69 DAP era aplicado somente solução nutritiva e, a partir dos 70 DAP teve início a aplicação dos níveis de salinidade junto a solução nutritiva, sendo fracionada a quantidade total de NaCl nas primeiras aplicações. Durante o período de crescimento, os perfilhos da cana-de-açúcar foram removidos periodicamente, mantendo-se apenas um colmo em cada vaso. No total, 192 plantas foram cultivadas durante o período experimental, compreendendo 48 plantas de cada cultivar. Assim, foram escolhidas 12 plantas de cada cultivar ao acaso para avaliação do efeito dos níveis de salinidade. Finalmente, as plantas foram tutoradas individualmente, para evitar o tombamento por ventos fortes e pelo próprio peso.

Figura 1. Vista geral de dentro da casa-de-vegetação após o desbaste das quatro cultivares de cana-de-açúcar aos 30 dias após plantio.

Durante o período experimental, foram realizadas fertirrigações com uma solução nutritiva preparada manualmente, a partir da adição na água de volumes idênticos de duas soluções estoque A e B, sendo estas 50 vezes concentradas (Tabela 1). A solução resultante diluída foi armazenada em quatro recipientes R1, R2, R3 e R4, com capacidade individual de 100 L (Figura 2). Todos recipientes recebiam a mesma solução nutritiva, com a CE próxima de 3 dS m^{-1}, porém nos recipientes R2, R3 e R4 eram adicionadas as respectivas quantidades de 2,9, 5,8 e 8,7 g L^{-1} de NaCl, que representa 50, 100 e 150 mM L^{-1} de NaCl, respectivamente. A adoção do valor de 3 dS m^{-1} para solução nutritiva utilizada no cultivo da cana-de-açúcar baseou-se nos trabalhos de TRENTIN et al. (2011),

Tabela 1. Composição das soluções estoque A e B 50 vezes concentrada, com os respectivos fertilizantes e quantidades dissolvidos em 100 L de água; e a concentração dos nutrientes da solução nutritiva utilizada. Modificada a partir da solução nutritiva de Johnson (JOHNSON et al., 1957)

Preparo da solução estoque 50 vezes concentrada			Solução nutritiva*		
Solução	Sais/Fertilizantes	Concentração g $100L^{-1}$	Nutriente	Concentração mg L^{-1}	mM L^{-1}
A	Nitrato de Potássio	500	NH^{4+}	21	1,53
	Nitrato de Cálcio Hydro	5500	NO^{3-}	129	9,24
			K^{+}	344	8,80
B	Fosfato Monoamônio Purificado	900	Ca^{+2}	168	4,19
	Sulfato de Magnésio	2000	Mg^{+2}	40	1,63
	Cloreto de Potássio	3000	PO_4^{-3}	47	1,53
	Sulfato de Cobre	1,0	SO_4^{-2}	52	1,62
	Sulfato de Zinco	3,5	Cu^{+2}	0,05	0,001
	Sulfato de Manganês	10,0	Zn^{+2}	0,16	0,002
	Ácido Bórico	10,0	Mn^{+2}	0,48	0,009
	Molibdato de Sódio	1,0	BO_3^{-3}	0,34	0,032
	Ferrilene	300	Mo^{+2}	0,11	0,001
			Fe^{+2}	3,61	0,065

*- Valores referentes a diluição de 0,03 L de ambas soluções A e B para um litro de água. Nesta diluição, a condutividade elétrica da solução será de aproximadamente 3 dS m^{-1}.

BOEHRINGER et al. (2013) e BATISTA et al. (2015), e as quantidades de NaCl em estudos conduzidos com o objetivo de avaliar o efeito da salinidade no crescimento da cana-de-açúcar (PLAUT et al., 2000; PATADE et al., 2011; WILLADINO et al., 2011; SIMÕES et al., 2016). O monitoramento da CE foi realizado manualmente com um condutivímetro portátil (modelo CDH-42, Omega, Stamford, CT, USA).

Figura 2. Recipientes R1, R2, R3 e R4 de armazenamento da solução nutritiva, contendo as respectivas concentrações de NaCl: 0, 50, 100 e 150 Mm. Cada recipiente estava conectado a uma eletrobomba (indicadas pelas setas amarelas).

No laboratório foi realizada a determinação da condutividade elétrica (CE) da solução de fertirrigação a temperatura de 25 ℃, da solução nutritiv a (0,03 L da solução estoque A e 0,03 L da solução estoque B, em 1,0 L de água destilada), contendo as diferentes concentrações de NaCl. Os resultados obtidos foram utilizados na análise de regressão linear (Equação 1), que proporcionou um ajuste do R^2 de 0,99. Assim, os níveis de salinidade, representados pela CE para as concentrações de 0, 50, 100 e 150 mM L^{-1} de NaCl foram aproximadamente 3, 6, 10 e 13 dS m^{-1}, respectivamente. Para a medição da CE, foi utilizado o condutivímetro portátil.

$CE=1,2xC_{NaCl} + 3,0$ (Eq.1)

em que:

C_{NaCl} – quantidade de NaCl, g L^{-1}.

2.2. Aplicação dos níveis de salinidade e monitoramento das variáveis meteorológicas

A aplicação dos níveis de salinidade ocorreu por meio de microtubos flexíveis que derivavam de tubulações de PVC, sendo controlada por um microcontrolador Arduino (modelo Duemilanove, Ivrea, Turin, Itália), provido de um módulo relógio (modelo RTC DS1307) para fornecer a data e hora. Além disso, o sistema de controle era associado a uma placa de relés (modelo LRT-R04DR, LR Informática Industrial, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil) (Figura 3), responsável pelo acionamento de quatro eletrobombas conectadas aos recipientes (Figura 2).

Os eventos de fertirrigação ocorriam sempre às 18 horas, para que no início do dia seguinte todos os vasos com plantas de cana-de-açúcar estivessem na capacidade de campo. No decorrer do período de realização do experimento, o volume aplicado variou conforme o crescimento da cultura e as variações meteorológicas do ambiente de cultivo. Esse procedimento foi necessário para que o volume, correspondente a cada nível de salinidade aplicado, sempre fosse superior ao volume de água evapotranspirado, permitindo uma fração lixiviada maior que 25%, como feito por PLAUT et al. (2000) e SILVA et al. (2009). A vazão do sistema foi de 0,06 L por minuto, sendo o coeficiente de uniformidade de Christiansen de 97%.

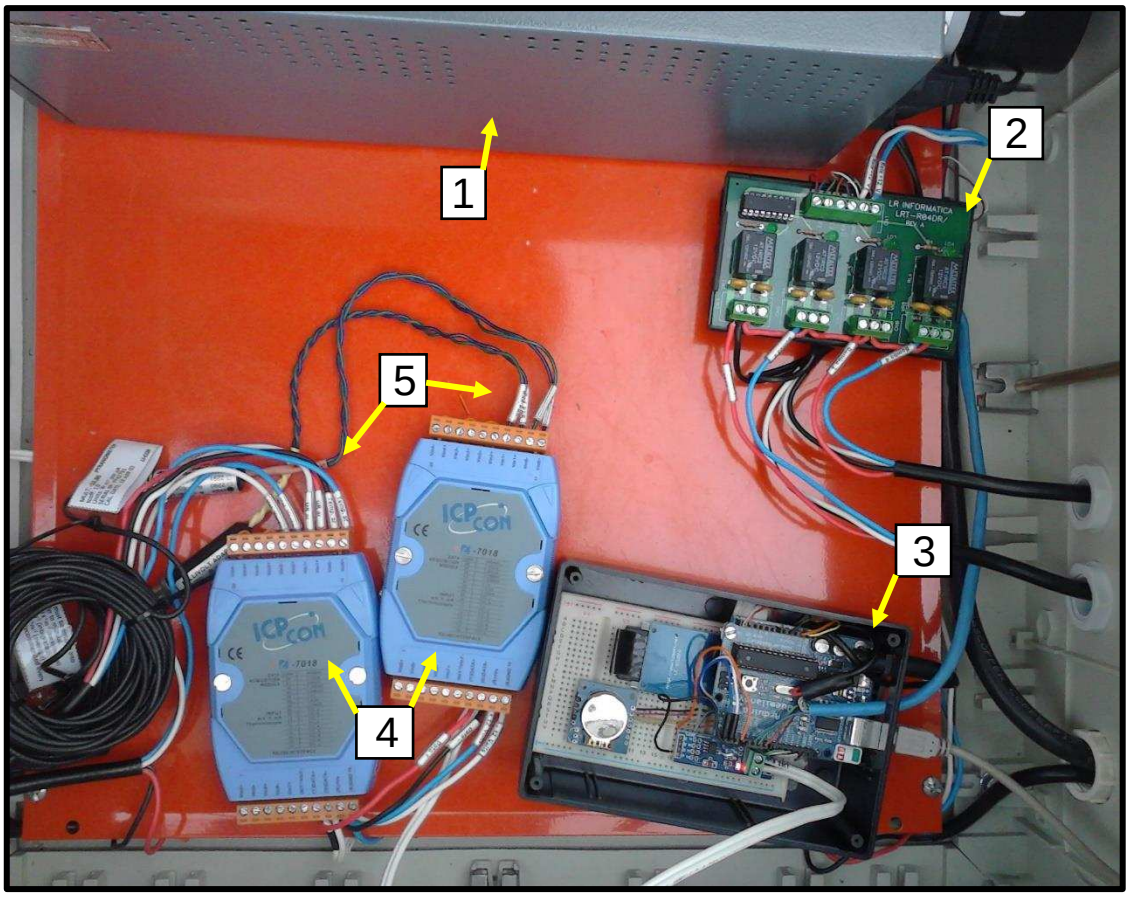

Figura 3. Sistema automatizado de controle da frequência e duração da fertirrigação e monitoramento das variáveis meteorológicas. 1) Nobreak; 2) Placa de relés; 3) Arduino Duemilanove, junto aos módulos relógio, Bluetooth, cartão de memória e conversor de sinal “TTL” para RS-485; 4) Dois módulos LR-7018 de conversão de sinal analógico para sinal digital via RS-485. 5) Cabos dos quatros sensores de monitoramento das variáveis meteorológicas.

O monitoramento das variáveis meteorológicas do ambiente de cultivo foi realizado por quatro sensores dispostos em uma estrutura feita de tubo de PVC (Figura 4). O interior do tubo era aspirado e possuía um sensor conjugado de temperatura e umidade relativa do ar (modelo HMP60, Vaisala, Woburn-MA, USA) (Figura 4-1), dessa forma, os elementos sensíveis desse sensor ficaram protegidos da incidência direta dos raios solares, além de garantir uma taxa de ventilação de 5 m s^{-1} (ALLEN et al., 1998). Na parte superior da estrutura havia

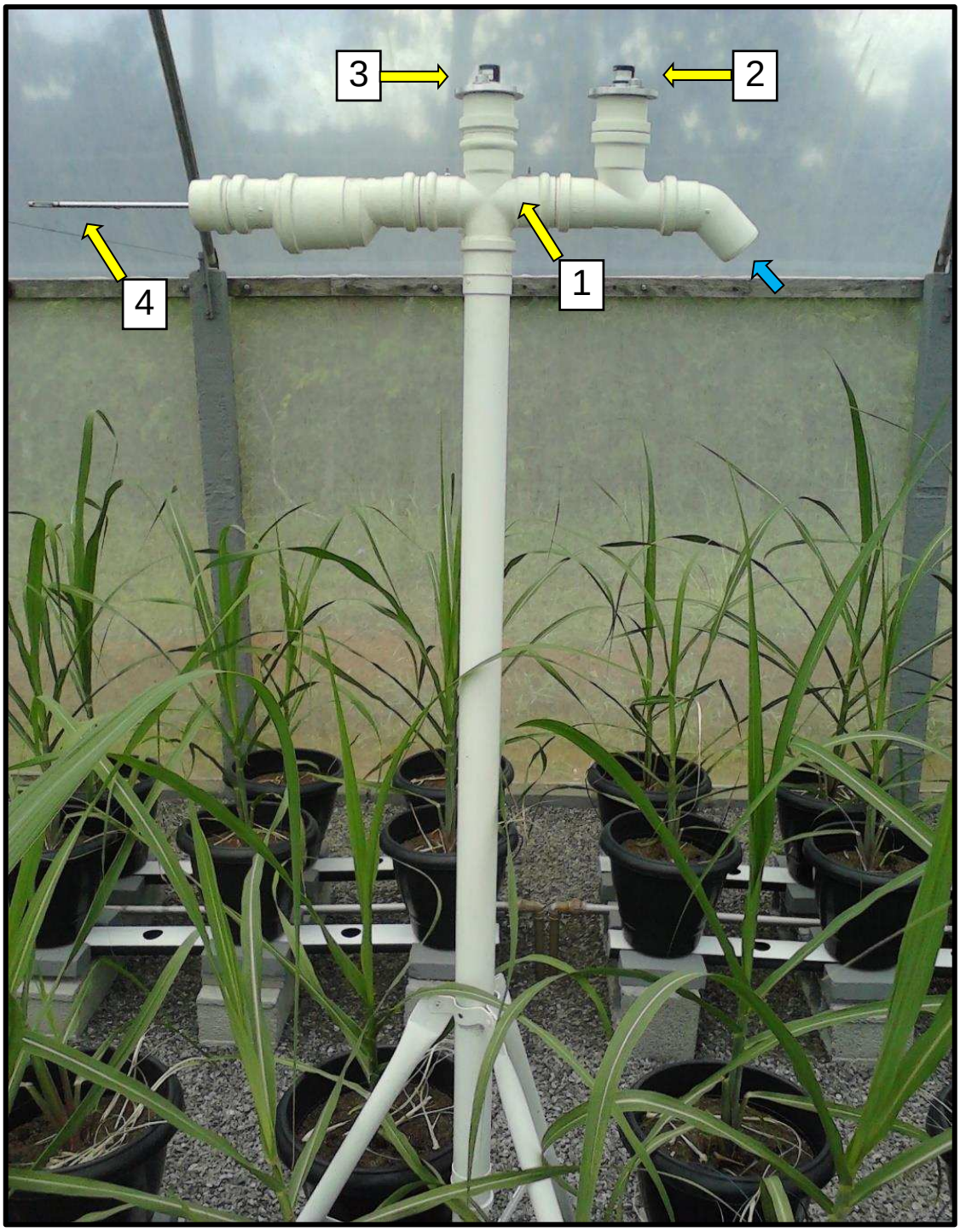

Figura 4. Estrutura de tubo de PVC aspirado contendo os sensores de medição das variáveis meteorológicas. 1) sensor de temperatura e umidade relativa do ar internamente ao tubo; 2) sensor de radiação global; 3) sensor de radiação fotossinteticamente ativa; e 4) sensor de velocidade do vento. *- seta azul indicando a entrada do ar aspirado.

um sensor de radiação global (Piranômetro, modelo LI-200SA, Li-Cor, Lincoln-NE, USA) (Figura 4-2) e outro de radiação fotossinteticamente ativa (Quantum,

modelo LI-190SA, Li-Cor, Lincoln-NE, USA) (Figura 4-3). Por último, na lateral da estrutura, havia um anemômetro de fio quente (modelo FMA-903-I, Omega, Stamford-CT, USA) (Figura 4-4) para medição da velocidade do ar. Estes sensores foram conectados em módulos analógicos de aquisição de dados (modelo LR-7018, LR Informática Industrial, Porto Alegre-RS), o qual transmitia os dados via protocolo “RS-485” tanto para microcomputador como para o microcontrolador Arduíno.

Além das variáveis meteorológicas do ambiente de cultivo, foi instalado um sensor conjugado de temperatura e umidade relativa do ar (modelo HMP60, Vaisala, Woburn-MA, USA) dentro de um abrigo meteorológico (modelo 41002, R.M. Young Co., USA), montado a quatro metros de altura e próximo da casa-de-vegetação. Essas variáveis foram utilizadas para o cálculo da evapotranspiração de referência para ambientes protegidos.

2.3. Interface do programa computacional de aquisição e armazenamento de dados

O gerenciamento do processo de aquisição e armazenamento dos dados provenientes dos sensores eletrônicos foi realizado por meio de um programa desenvolvido em linguagem C++ (software Builder versão 6.0, Borland™). Este programa foi instalado em um microcomputador que se comunicava com os módulos analógicos de aquisição de dados a partir do protocolo “RS-485”. As leituras dos dados ocorriam em intervalos de cinco segundos, sendo armazenadas as médias de 12 leituras em cada minuto. Simultaneamente, o programa realiza o cálculo da evapotranspiração de referência (ETo) (ALLEN et al., 1998, STEIDLE NETO, 2007) a partir dos dados obtido em um minuto, sendo calculada primeiramente para todo o ambiente protegido e, posteriormente, para

a área efetiva com as cultivares de cana-de-açúcar, cujo valor era de 38,4 m², e por fim, dividida entre as 192 plantas, afim de se obter a ETo por planta por minuto. Os valores de ETo foram integrados em períodos de 24 horas, a partir de momentos, sendo da zero hora e das 18 horas.

A interface visual do programa computacional desenvolvido para monitoramento das variáveis meteorológicas foi composta de três abas. A primeira, chamada de “Monitoramento” (Figura 5), mostra os valores instantâneos monitorados, além de fornecer informações sobre o cálculo da ETo. A segunda componente, chamada de “Dados” (Figura 6), refere-se ao armazenamento dos valores obtidos, mostrando médias e integrais das variáveis gravadas a cada minuto e a cada hora. Por último, na aba chamada “Gráficos” (Figura 7), os valores gravados (“Histórico”) das variáveis temperatura e umidade relativa do ar e de radiação solar global e fotossinteticamente ativa são exibidos em formato gráfico, podendo-se optar por visualizar os dados dos minutos constantes em cada hora ou pelos dados horários do dia. Também, apresentava uma barra de Status que fornecia informações do funcionamento do programa.

STEIDLE NETO et al. (2009) ao desenvolverem um programa computacional para o controle automático da aplicação de fertirrigação com base no monitoramento meteorológico, obtiveram redução do gasto de solução nutritiva quando comparado ao sistema convencional. De acordo com esses autores, o uso de sistema automatizado é capaz de aplicar somente a necessidade hídrica da cultura, enquanto que o sistema convencional excedia a demanda hídrica da cultura, variando em dias típicos com céu claro e nublado,

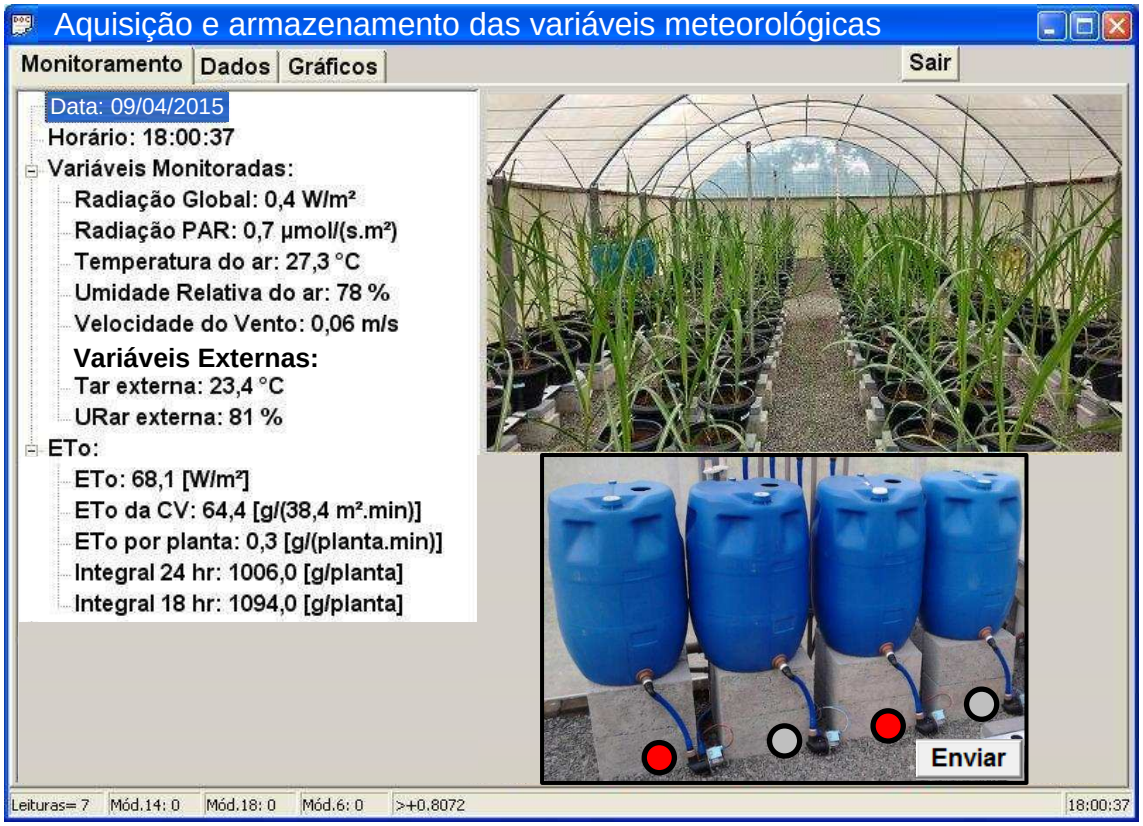

Figura 5. Interface gráfica do programa computacional de aquisição e armazenamento de dados, destacando a aba de “Monitoramento”.

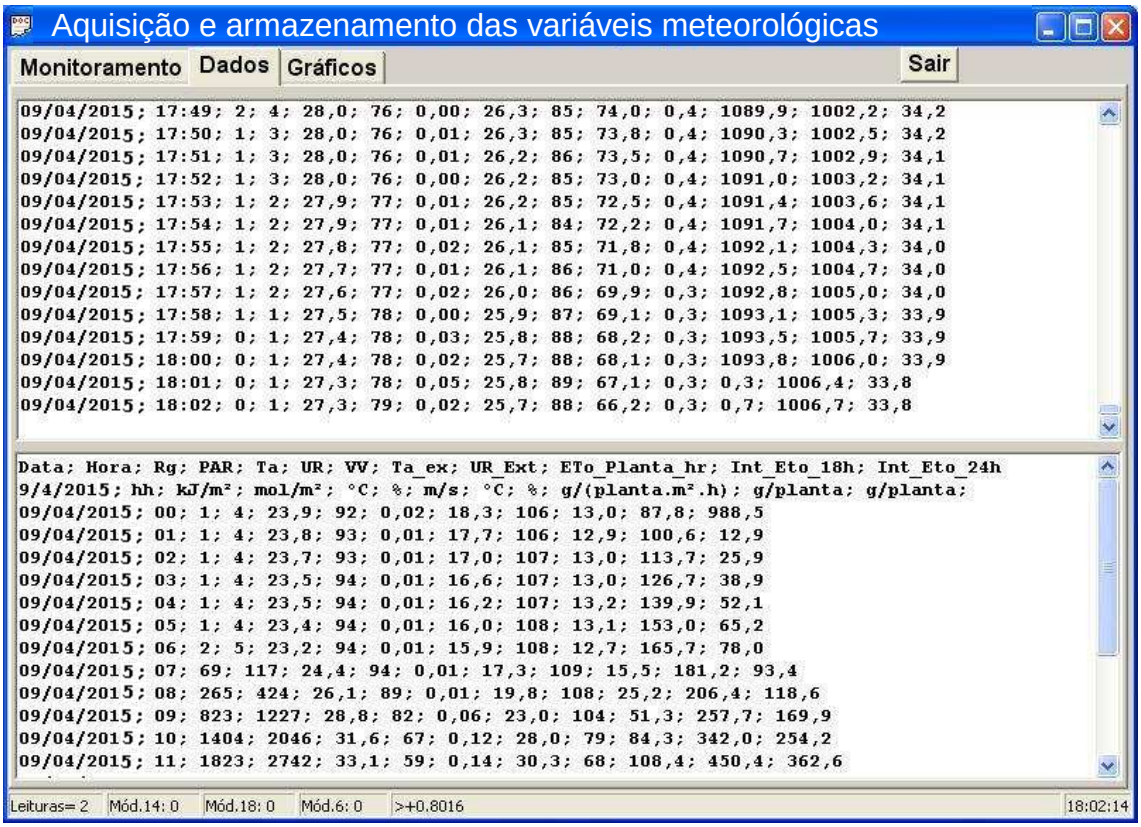

Figura 6. Interface gráfica do programa computacional de aquisição e armazenamento de dados, destacando a aba de “Dados”.

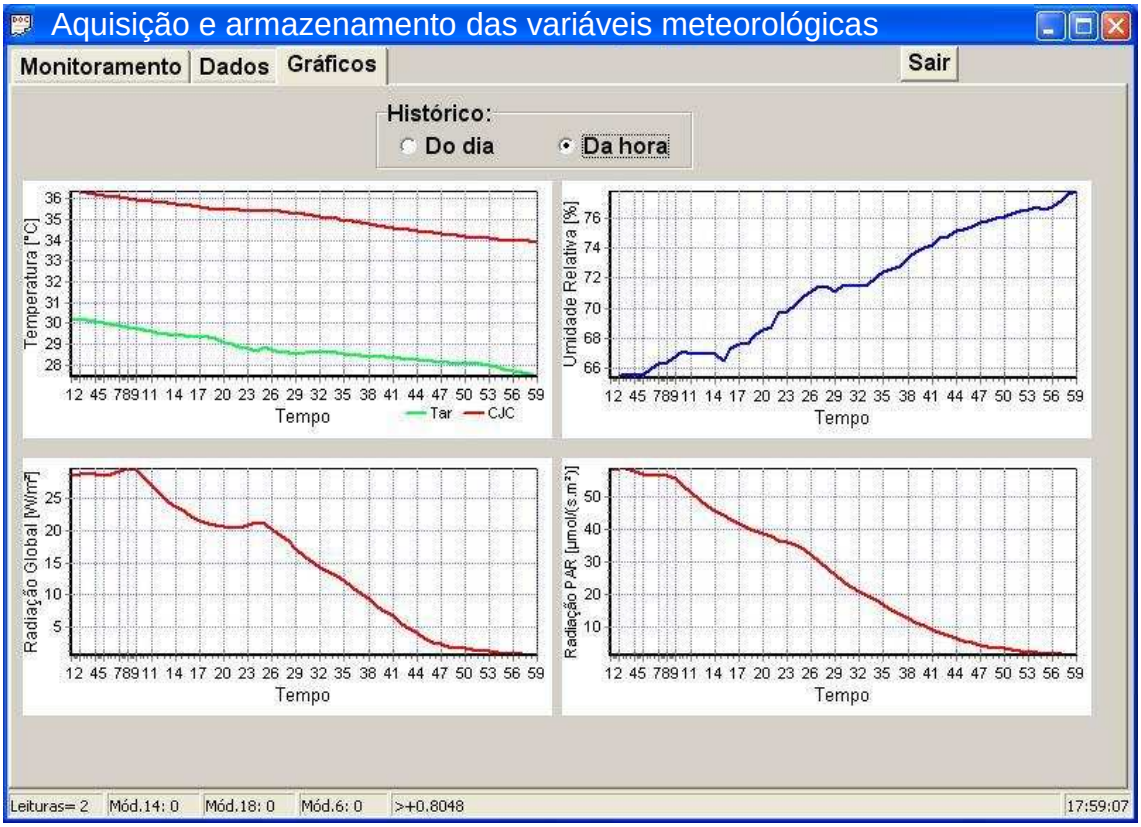

Figura 7. Interface gráfica do programa computacional de aquisição e armazenamento de dados, ilustrando as alterações das variáveis meteorológicas do ambiente de cultivo por meio da aba “Gráficos”. Em particular, estes gráficos referem-se aos dados gravados em escala de minutos, no período compreendido entre 17:00 e 18:00 horas.

respectivamente. Assim, o uso de programa computacional, como o desenvolvido para esta pesquisa, se mostra uma ótima alternativa para o manejo da fertirrigação, com adequada aplicação dos tratamentos.

Com finalidade de evitar falhas no armazenamento dos dados, devido às possíveis interrupções de energia na área experimental ou mau funcionamento do microcomputador, a aquisição de dados e armazenamento das variáveis meteorológicas também foi realizada por meio do microcontrolador Arduíno (Figura 3), sendo a energia de alimentação proveniente de uma fonte de 12 Volts conectada a um Nobreak. Para obter os dados provenientes dos módulos

analógicos de aquisição de dados, utilizou-se um módulo conversor “TTL” para o protocolo “RS-485”, e para o armazenamento dos dados utilizou um módulo de cartão de memória. Para verificar o funcionamento do microcontrolador Arduíno foi instalado um módulo Bluetooth (modelo HC-06), permitindo a comunicação por meio de um aplicativo supervisório instalado em dispositivos com sistema operacional Android.

Para obter os valores de CE da solução lixiviada próximos aos valores de CE da solução aplicada e, adequado volume da solução lixiviada, era alterada a duração da fertirrigação de acordo com a demanda hídrica do dia, por exemplo: em dias nublados, cuja demanda hídrica foi menor, ocorreu fertirrigação com curta duração, ao passo que dias com céu claro teve maior duração. Além disso, a alteração da duração da fertirrigação levou em consideração a vazão do sistema, a estimativa da ETo e os próprios valores de CE na fração lixiviada. A alteração da duração da fertirrigação era feito por meio do aplicativo supervisório.

2.4. Campanhas biométricas

O monitoramento biométrico das plantas teve início no dia 17/02/2015 (67 DAP), com um total de sete campanhas ao longo do período experimental, sendo que a última no dia 28/05/2015 (166 DAP). Os dados biométricos obtidos foram: estatura dos colmos (EC, cm), com o auxílio de uma régua graduada, a partir da superfície do substrato até a bainha da folha +1, a qual segue esquema de numeração das folhas pelo sistema Kuijper, conforme DILLEWIJN (1952); comprimento individual para cada folha de uma planta (C, cm), com auxílio de fita métrica graduada, a partir da bainha até a ponta da folha; e a largura da

respectiva folha (L, cm), medida com auxílio de uma régua graduada próximo ao comprimento do terço médio da folha.

Os dados de comprimento e largura de cada folha foram utilizados para estimativa da área foliar (AF, cm^2 $planta^{-1}$) de cada planta durante todas as sete campanhas biométricas, utilizando a seguinte equação (Eq.2):

$$AF = \sum_{i=1}^{NF}(C.L.f) \quad \text{(Eq.2)}$$

em que:

C – comprimento da folha, cm;

L – largura do terço médio da folha, cm;

f – fator de forma, adimensional;

NF – número de folhas verdes, adimensional.

Como as folhas não possuem formato retangular, é necessário a utilização do parâmetro “f”, para que a área foliar represente o verdadeiro formato das folhas (SINCLAIR et al., 2004). Além disso, existe diferença no valor desse parâmetro entre as cultivares e condições de estresse, em decorrência da modificação dos formatos das folhas (SILVA et al., 2009; FERREIRA JÚNIOR et al., 2014; BATISTA, 2012).

Assim, o parâmetro “f” foi ajustado para cada variedade e nível de salinidade em estudo, sendo representado pelo coeficiente angular da regressão linear simples ($\beta_0 = 0$), na qual a variável independente é o produto do comprimento pela largura (C x L) e a variável dependente a área foliar da mesma folha determinada por meio de um medidor de área foliar (modelo LI-3100C Area Meter, Li-COR, Lincoln-NE, USA). Este parâmetro foi obtido com os dados da

última amostragem, quando ocorreu análise destrutiva das plantas para medição da área foliar, e utilizado nas amostragens anteriores.

A análise estatística para validação do parâmetro “f”, compreendeu os índices estatísticos de precisão (coeficiente de correlação, “r”) e de exatidão (índice de concordância de Willmott, “d”) (WILLMOTT et al., 1985). Adicionalmente, foram estimados os seguintes erros estatísticos: erro médio de estimativa (EME) e a raiz do erro quadrático médio (REQM). Também, calculou o teste “t” de Student para testar a hipótese (Ho) de que há diferença entre os dados estimados e os observados. Além disso, foi avaliado o desempenho dos índices “r” e “d” através do coeficiente de confiança (“c”), como sugerido por CAMARGO & SENTELHAS (1997), sendo obtido pelo produto de “r” com “d”. O índice de precisão indica o grau de dispersão dos dados obtidos em relação à média. Por outro lado, o índice de exatidão está associado ao desvio entre valores estimados e observados, sendo que quanto mais próximo de 1, maior é a exatidão do modelo de predição da variável analisada.

2.5. Avaliação da estatura dos colmos e da área foliar ao longo do tempo

Vários pesquisadores, que buscaram entender o comportamento de crescimento e desenvolvimento da parte aérea da cana-de-açúcar ao longo do plantio, verificaram que, no caso do crescimento, este ocorre de forma sigmoidal (INMAN-BAMBER et al., 2002; OLIVEIRA et al., 2005; ALMEIDA et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2010, SILVA et al., 2012; BATISTA et al., 2013; BATISTA et al., 2015). Assim, o crescimento pode ser dividido, aproximadamente, em três etapas: uma fase de crescimento lento, no início do cultivo; um período de rápido crescimento, caracterizado pelo alongamento dos internódios e pelo acúmulo de

75% da fitomassa total; e, por último, outra fase de pouco ou nenhum crescimento.

Com base neste comportamento, realizou-se a análise de regressão não linear, tendo como variável dependente a estatura dos colmos e área foliar, e como variável independente os graus-dia acumulados após o plantio (GDA, ℃d $^{-1}$). Nesta análise, foi adotado o modelo sigmoidal com três parâmetros, conforme demostrado na equação (Eq.3):

$$y = \frac{a}{\left(1+\exp\left(-\left(GDA-GD_0\right)/b\right)\right)} \quad \text{(Eq.3)}$$

em que:

y- representa a estatura dos colmos (EC) ou a área foliar (AF), respectivamente, cm e cm²;

GDA- graus-dia acumulados após o plantio, ℃ d $^{-1}$;

a, b e GD_0 – parâmetros do modelo sigmoidal.

O parâmetro “a” do modelo sigmoidal representa o valor de “y” no momento de transição do final da fase de rápido crescimento da cultura para a fase de pouco ou nenhum crescimento. O parâmetro “b” do modelo está relacionado ao tempo térmico de transição da primeira para a segunda fase de crescimento e desenvolvimento da cultura, que ocorre após a emergência. Por fim, o parâmetro GD_0 representa o valor de graus-dia acumulados no qual ocorre o maior crescimento, ou seja, indica onde ocorre o pico da taxa de crescimento.

Os graus-dia acumulados após o plantio foram determinados pela Eq.4, considerando-se a temperatura base de 10 ℃ para a AF e de 16 ℃ para a EC, de acordo com SMIT & SINGELS (2006):

$$\mathrm{GDA} = \sum_{i=0}^{DAP} (Tm - Tb) \quad \text{(Eq.4)}$$

em que:

Tm – temperatura do ar média diária, ℃;

Tb – temperatura base, ℃;

DAP – dias após o plantio, adimensional.

A partir da derivação do modelo sigmoidal com três parâmetros, foram obtidas as taxas de elongação média do colmo (TEC, cm ℃ d^{-1}) e a taxa de incremento de área foliar (TIAF, cm^2 ℃ d^{-1}).

2.6. Variáveis morfológicas analisadas ao final do experimento

Além das medições de área foliar e estatura dos colmos ao final do experimento, também foram realizadas as seguintes medições: massa fresca das folhas verdes (MFF), número de folhas verdes (NF), massa fresca dos colmos (MFC), diâmetro médio dos colmos (DMC), volume total referente aos internódios (VTI), matéria seca das folhas (MSF), matéria seca dos colmos (MSC) e matéria seca total da parte aérea (MST). A pesagem da matéria fresca e massa seca foi realizada com auxílio de uma balança eletrônica (Tecnal, Piracicaba, São Paulo, Brasil), que apresentava capacidade individual para 12 kg e precisão de 0,1 g. As distintas partes das plantas foram submetidas a secagem em estufa de circulação forçada à 65 ℃ por 72 horas, ou até a massa se apresentar constante.

A MFF foi obtida logo após as folhas serem excisadas das plantas. A MFC e MSC compreendeu o colmo cortado rente ao substrato até o fim pseudocaule. A MST da parte aérea foi obtida a partir do somatório da MSF, MSC e massa

seca de bainhas e folhas mortas, ou seja, toda parte aérea. Para obtenção do VTI, foi considerado que cada internódio ocupa o volume de um cilindro, cujo valor é determinado a partir das medições individuais do comprimento e diâmetro. Após o cálculo do volume, os resultados foram totalizados para fornecer o VTI de cada planta.

2.7. Análise estatística

Os resultados do experimento foram submetidos à análise de variância pelo teste “F” de Snedecor. Para os casos com interação significativa entre as cultivares e níveis de salinidade, realizou-se o desdobramento dos fatores. Nas situações em que houve efeito significativo para o fator níveis de salinidade (dados quantitativos), procedeu-se a análise de regressão para escolha do modelo, ou linear ou polinomial de segundo grau, com base no maior valor do coeficiente de determinação (R^2). Por último, quando o fator cultivar (dados qualitativos) foi significativo, comparou-se as distintas cultivares de cana-de-açúcar por meio do teste de médias (Tukey). As análises foram realizadas com auxílio do software estatístico Sisvar (FERREIRA, 2011), ao nível de 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Variáveis meteorológicas

Na Figura 8, são apresentados os valores observados durante o período experimental, os quais refere-se aos seguintes elementos meteorológicos: a) temperatura do ar (T_{ar}); b) umidade relativa do ar (UR_{ar}); c) radiação solar global (Rg); d) radiação fotossinteticamente ativa (RFA); e e) déficit de pressão de vapor d'água no ar (DPV_{ar}). Os valores de T_{ar} e UR_{ar} são separados em máximos, mínimos e médios diários. No caso da Rg e RFA, os valores apresentados correspondem à integração das medidas instantâneas ao longo do período diurno.

A T_{ar} média do período de estudo, compreendido entre 13/12/2014 a 28/05/2016, foi de 22,5 ℃ (Figura 8A). Neste período, a T_{ar} atingiu o maior valor (T_x = 37,1℃) no dia 02/01/2015, enquanto o menor valor (T_n = 10,5 ℃) foi observado no dia 15/05/2015. Verifica-se uma tendência de redução nos valores da T_{ar} do início ao final do experimento, sendo que não houve grandes variações nos valores da média diária (T_m) entre fevereiro e meados de março. Similarmente, também foi constatado essa tendência para as variáveis Rg, RFA e DPV_{ar}, fato explicado pela transição do período de verão para o outono, em que ocorre diminuição no fotoperiodo.

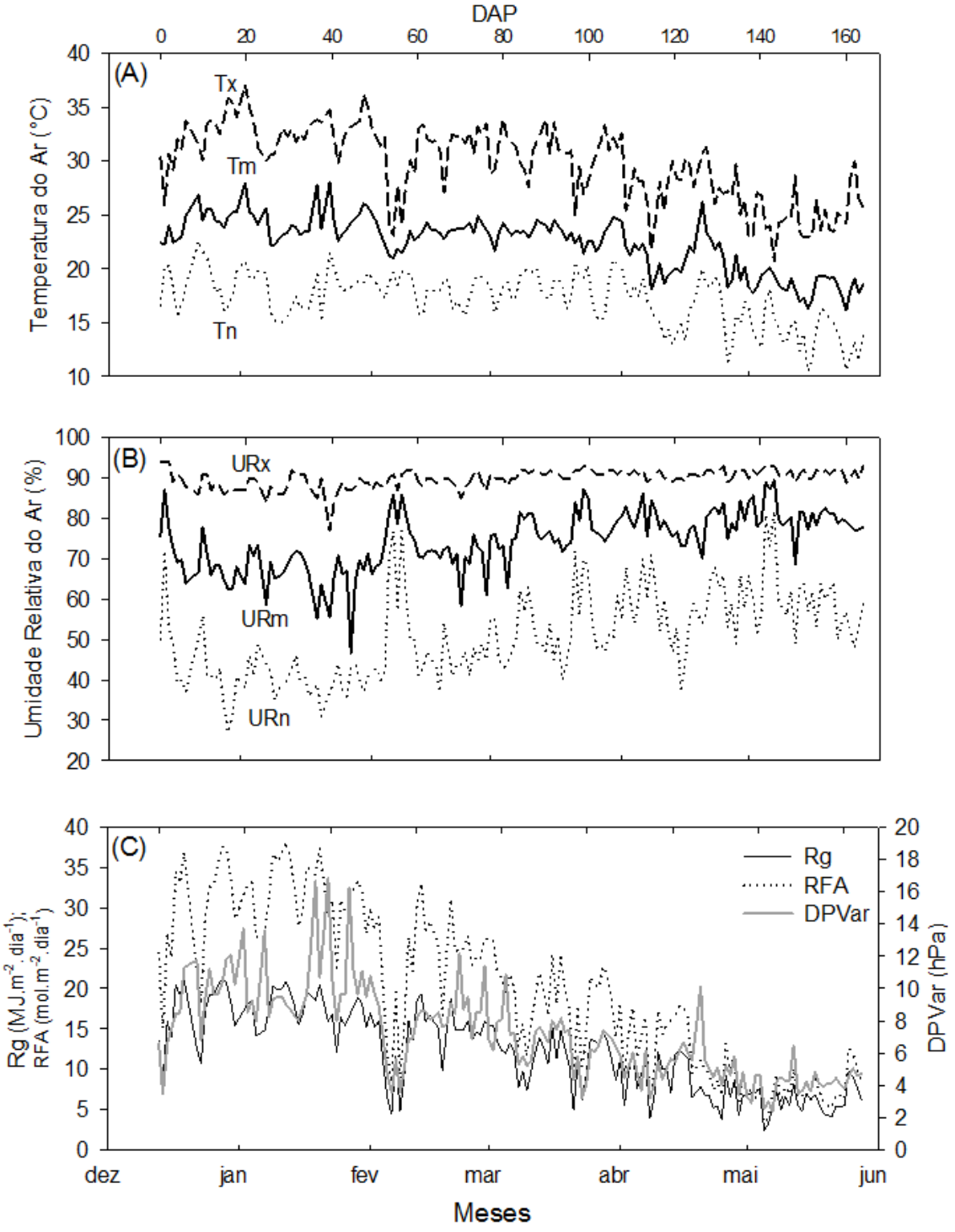

Figura 8. Variação dos elementos meteorológicos, ao longo do período de crescimento das cultivares de cana-de-açúcar, no período de dez/2014 à maio/2015, no interior de uma casa-de-vegetação, Viçosa-MG. As medidas referem-se às temperaturas máxima (T_x), mínima (T_n) e média (T_m) diária do ar (A); umidade relativa máxima (UR_x), mínima (UR_n) e média (UR_m) diária do ar (B); déficit de pressão de saturação de vapor d'água no ar (DPV_{ar}) e aos totais diários de radiação solar global (Rg) e radiação fotossinteticamente ativa (RFA) (C).

A Rg apresentou valor médio de 12,2 MJ m^{-2} dia^{-1}, com valores extremos de 21,3 MJ m^{-2} dia^{-1} e 2,4 MJ m^{-2} dia^{-1}, enquanto, para a RFA, o valor médio foi de 20,2 mol m^{-2} dia^{-1}, com seus extremos entre 38,2 e 2,9 mol m^{-2} dia^{-1} (Figura 8C). Os dados mais elevados de radiação solar coincidem com os dias de baixa ou nenhuma nebulosidade, enquanto os menores valores foram observados em dias nublados ou até mesmo chuvosos. Também, constata-se a mesma tendência de variação para a RFA, que é uma fração do espectro da Rg (VIANELLO & ALVES, 2012).

A média da UR_{ar} neste período ficou em torno de 74%, com valores extremos de 47 e 90% (Figura 8). No que se refere ao DPV_{ar}, verificou-se uma tendência inversa de variação em relação ao comportamento da UR_{ar} ao longo dos dias, sendo que as maiores médias diárias de T_{ar} contribuíram para os valores mais elevados de DPV_{ar}. Como exemplo, verifica-se o maior valor de DPV_{ar} (16,8 hPa) em 22/01/2015, que também é a data com o maior valor médio diário de T_{ar} (28 ℃).

3.2. Fator de forma

Na Tabela 2, são apresentados os valores do fator de forma (f), os índices de precisão (r) e de exatidão (d), coeficiente de confiança (c), erro médio de estimativa (EME), raiz do erro quadrático médio (REQM) e o p-valor de rejeição de Ho pelo teste “t” de Student. Como se observa, os valores de “r” e de “d” foram maiores que 0,9, os quais resultaram em coeficientes de confiança sempre acima de 0,85, o que indica um ótimo desempenho, de acordo com a classificação de CAMARGO & SENTELHAS (1997).

Tabela 2. Desempenho estatístico do fator de forma, para estimativa da área foliar das cultivares de cana-de-açúcar RB867515, RB855453, RB928064 e RB92579, sob diferentes níveis de salinidade, expressa pela condutividade elétrica da solução de nutritiva.

Cultivar	CE	f	r	d	c	EME	REQM	t (p>0,05)
RB867515	3 dS m^{-1}	0,68	0,97	0,98	0,97	-3,14	76,28	0,86
	6 dS m^{-1}	0,72	0,98	0,99	0,97	16,95	45,88	0,16
	10 dS m^{-1}	0,71	0,96	0,98	0,94	-5,67	64,92	0,74
	13 dS m^{-1}	0,72	0,97	0,98	0,95	-3,57	44,63	0,79
RB855453	3 dS m^{-1}	0,69	0,95	0,97	0,93	-9,74	62,58	0,51
	6 dS m^{-1}	0,71	0,95	0,97	0,92	-0,48	59,83	0,97
	10 dS m^{-1}	0,71	0,97	0,98	0,95	-14,06	43,63	0,23
	13 dS m^{-1}	0,69	0,93	0,95	0,89	-16,19	48,27	0,24
RB928064	3 dS m^{-1}	0,71	0,99	0,99	0,99	-8,19	27,70	0,17
	6 dS m^{-1}	0,73	0,90	0,94	0,85	-13,14	58,42	0,37
	10 dS m^{-1}	0,73	0,95	0,98	0,93	-4,74	47,48	0,72
	13 dS m^{-1}	0,74	0,94	0,97	0,91	-18,01	38,84	0,10
RB92579	3 dS m^{-1}	0,71	0,96	0,97	0,93	19,74	52,27	0,07
	6 dS m^{-1}	0,70	0,92	0,96	0,89	-19,24	71,63	0,24
	10 dS m^{-1}	0,72	0,95	0,97	0,92	-16,02	44,62	0,17
	13 dS m^{-1}	0,73	0,98	0,99	0,97	-5,26	26,30	0,44

CE – condutividade elétrica; f – fator de forma; r – coeficiente de correlação; d – índice de concordância de Willmott; c – coeficiente de confiança; EME – erro médio de estimativa; REQM – raiz do erro quadrático médio; t – p-valor de rejeição de Ho do teste “t” de Student.

Os valores do indicador de exatidão EME revelaram, para uma ampla faixa de AF por folha, ou seja, para a estimativa da área média de uma cultivar de cana-de-açúcar, que houve subestimativas, sendo a maior para a cultivar RB92579 na CE de 6 dS m^{-1} (-19,24 cm^2), e superestimativas, sendo a maior para a cultivar RB92579 na CE de 3 dS m^{-1} (19,74 cm^2). Contudo, deve ser levado em consideração que esses valores são relativamente pequenos em relação a área total por planta. No que se refere ao indicador de precisão REQM, pode ser verificado que, para qualquer folha o erro médio está compreendido

entre 27,70 e 76,28 cm², o que pode ser explicado pela variação existente do comprimento e da largura entre as folhas de uma mesma planta.

O parâmetro “f” apresentou valores diferentes entre as cultivares e dentro dos níveis de salinidade, pois além das cultivares possuírem formatos específicos, também ocorreu redução da AF causada pela salinidade (dados apresentados posteriormente). Na literatura encontram-se valores distintos de “f” para as diferentes cultivares de cana-de-açúcar. FERREIRA JUNIOR et al. (2014) trabalharam com a cultivar RB98710, avaliando a irrigação por gotejamento em dois espaçamentos entre linhas de plantio, em Alagoas, encontrando um valor de “f” de 0,65. Por outro lado, SINCLAIR et al. (2004) observaram variação no valor de “f” entre 0,70 a 0,73 para quatro cultivares de cana-de-açúcar (CP80-1743, CP88-1762, CP72-2086 e CP89-2143). Similarmente, SILVA (2009) encontraram, para a cultivar RB92579 na Bahia, o valor 0,69 para o “f”, o qual é bem próximo aos valores obtidos para a mesma cultivar em condição sem estresse salino (3 dS m^{-1}) e com o menor nível de salinidade (6 dS m^{-1}).

3.3. Análises ao longo do tempo

3.3.1. Variação da área foliar

A partir das medições do comprimento e largura de cada folha de uma planta e do valor do fator de forma (f) respectivo de cada cultivar e nível de salinidade, obteve-se a área foliar (AF) para cada tratamento, ao longo do período experimental. Assim, foi possível realizar o ajuste do modelo sigmoidal de três parâmetros para a AF em função dos graus-dia acumulados após o plantio (GDA), utilizando-se as temperaturas base de 10℃. No total, foram

realizadas sete campanhas biométricas ao longo da fase de crescimento vegetativo das cultivares de cana-de-açúcar e, dessa forma, o parâmetro “b” do modelo foi fixado, de acordo com cada cultivar, utilizando-se os valores obtidos por BATISTA (2012). Esse procedimento possibilitou um melhor ajuste do modelo, uma vez que não foram conduzidas campanhas de biometria no período em que o modelo estimou o parâmetro “b”.

Na Tabela 3, são apresentados os valores estimados dos parâmetros de ajuste do modelo sigmoidal e o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), referentes à área foliar. Os resultados são mostrados para as cultivares de cana-de-açúcar RB867515, RB855453, RB928064 e RB92579, as quais foram submetidas à diferentes níveis de salinidade, expressos pela condutividade elétrica (CE). Observa-se que o R^2_{aj} apresentou elevados valores, indicando alta correlação entre a variável AF e o tempo térmico acumulado, independentemente do nível de estrese salino aplicado.

Os valores estimados de AF e as curvas ajustadas pelo modelo sigmoidal para a AF das cultivares de cana-de-açúcar, nas diferentes condições de CE, são apresentados na Figura 9. Nota-se que, com a adição do sal NaCl, houve alteração na AF das quatro cultivares de cana-de-açúcar, sendo que quanto maior a concentração de NaCl adicionado, maior foi a redução na AF em relação aos tratamentos sem NaCl.

Como destacado anteriormente, cada cultivar possui um formato diferenciado das folhas, e isso é melhor observado nos diferentes valores de AF. Nas campanhas biométricas com medições do comprimento e da largura das folhas, verificou-se que cada cultivar apresentava dimensões características

Tabela 3. Parâmetros estimados pelo modelo sigmoidal (a, b e GD_0) e coeficientes de determinação ajustados (R^2_{aj}) para a área foliar de cultivares de cana-de-açúcar, em função dos graus-dia acumulados (Tb = 10 ℃) após o plantio. As plantas foram submetidas a diferentes níveis de salinidade, expressas pela condutividade elétrica (CE).

Cultivar	CE	Parâmetros do modelo sigmoidal			R^2_{aj}
		a	b	GD_0	
RB867515	3 dS m^{-1}	13138 (±358)	338,4	1408 (±29)	0,992
	6 dS m^{-1}	10270 (±269)	338,4	1234 (±32)	0,985
	10 dS m^{-1}	8837 (±131)	338,4	1238 (±18)	0,995
	13 dS m^{-1}	6173 (±157)	338,4	1000 (±40)	0,965
RB855453	3 dS m^{-1}	10886 (±307)	347,1	1374 (±31)	0,990
	6 dS m^{-1}	9934 (±123)	347,1	1315 (±14)	0,998
	10 dS m^{-1}	7235 (±128)	347,1	1160 (±24)	0,991
	13 dS m^{-1}	5813 (±85)	347,1	989 (±24)	0,988
RB928064	3 dS m^{-1}	13172 (±182)	339,1	1374 (±15)	0,998
	6 dS m^{-1}	9759 (±175)	339,1	1151 (±24)	0,990
	10 dS m^{-1}	8248 (±233)	339,1	1126 (±39)	0,974
	13 dS m^{-1}	6357 (±116)	339,1	903 (±32)	0,974
RB92579	3 dS m^{-1}	9404 (±339)	294,2	1200 (±42)	0,965
	6 dS m^{-1}	8704 (±324)	294,2	1168 (±46)	0,956
	10 dS m^{-1}	7029 (±245)	294,2	1104 (±45)	0,951
	13 dS m^{-1}	5615 (±72)	294,2	905 (±21)	0,985

NOTA:1) Os parâmetros do modelo sigmoidal são significativos ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t;
2) Os valores entre parênteses correspondem ao erro padrão de estimativa dos parâmetros;

para suas folhas e, no geral, os maiores comprimentos das folhas, em ordem decrescente, foram nas cultivares RB855453, RB867515, RB928064 e RB92579, enquanto os maiores valores de largura foram encontrados, em ordem decrescente, nas cultivares RB928064, RB867515, RB92579 e RB855453. Nos tratamentos com o nível de 3 dS m^{-1}, constatou-se que as cultivares RB867515 e RB928064 alcançaram os maiores valores AF, seguidas da RB855453 e RB92579 (Figura 9 – linha continua).

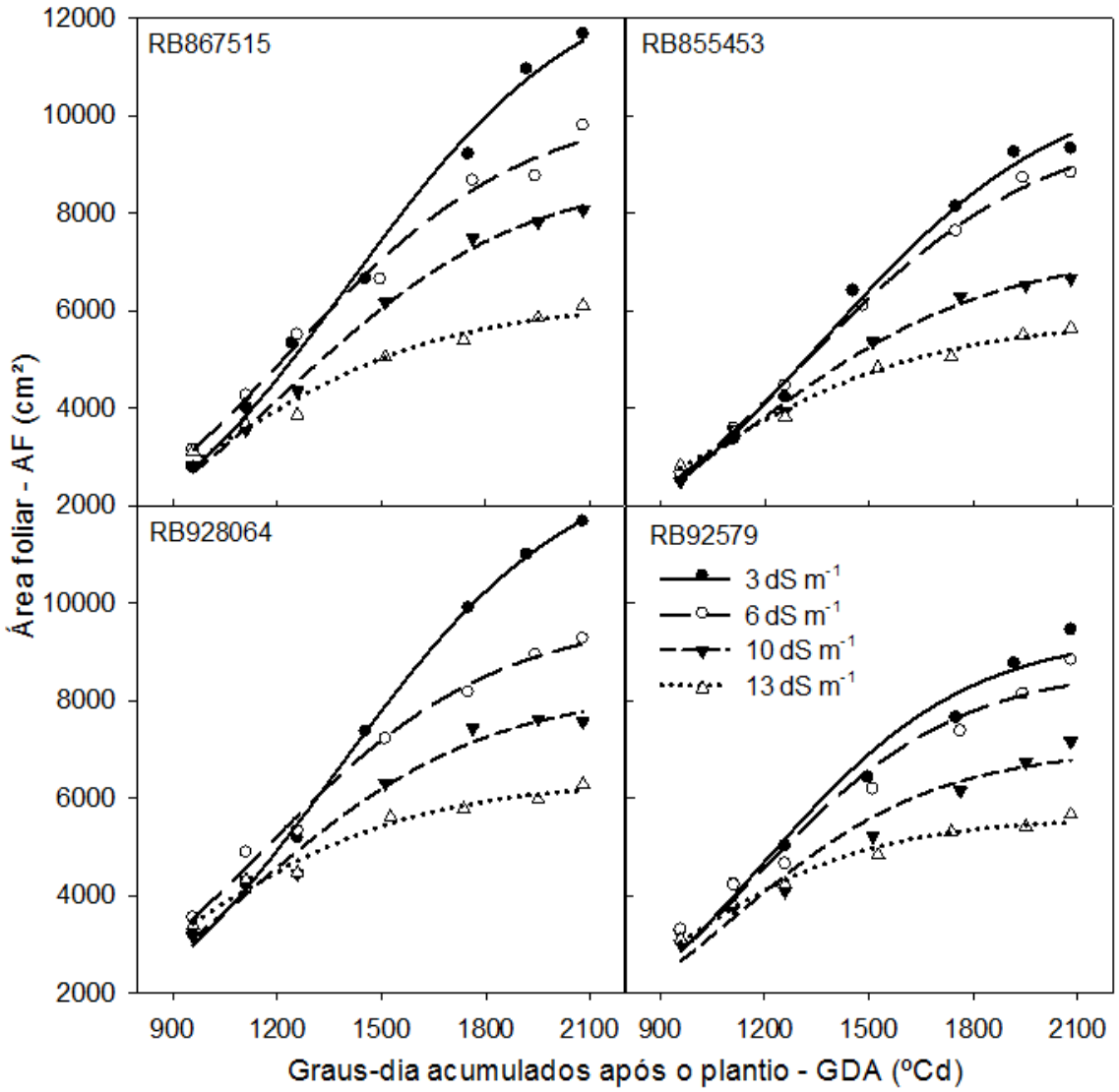

Figura 9. Variação da área foliar das cultivares de cana-de-açúcar RB867515, RB855453, RB928064 e RB92579, submetidas a distintos níveis de salinidade, expressos pela condutividade elétrica (CE) de 3, 6, 10 e 13 dS m^{-1}. Os resultados foram obtidos ao longo do crescimento vegetativo, em função dos graus-dia acumulados após o plantio (Tb=10 ℃).

PLAUT et al. (2000) investigaram a aplicação de cinco tratamentos com distintos níveis de salinidade, expressos pelos valores de condutividade elétrica (CE) de 1, 2, 4, 8 e 12 dS m^{-1}. Os níveis de salinidade foram estabelecidos pela mistura dos sais NaCl e $CaCl_2$ na água de irrigação, os quais foram aplicados nas cultivares H65-7052 (menos tolerante) e H69-8235 (mais tolerante), a partir dos 60 até os 128 DAP. Os autores verificaram reduções próximas de 40% para a

cultivar mais tolerante, e de 62% para a menos tolerante, entre as CE de 1 e de 12 dS m^{-1}. Já nas cultivares deste estudo, as reduções entre os tratamentos de 3 dS m^{-1} para o de 13 dS m^{-1}, ao final do experimento, foram aproximadamente de 47% (RB867515), 46% (RB928064) e 40% (RB92579 e RB855453).

Um efeito marcante no comportamento da área foliar das cultivares ao longo do tempo térmico, com o incremento da salinidade, é verificado para as cultivares RB867515 e RB928064, as quais tiverem um maior padrão de incremento no nível de 3 dS m^{-1}. Entretanto, o incremento correspondente ao nível de 6 dS m^{-1} é menor, apresentando um maior afastamento das curvas entre estes níveis. Quando se analisam as cultivares RB855453 e RB92579, observa-se que para o nível de 6 dS m^{-1} não ocorrem grandes variações no padrão de incremento.

A redução no crescimento foliar representa um mecanismo de defesa das plantas sob condições de estresse, tanto hídrico como salino, para redução das perdas de água por transpiração (TAIZ & ZEIGER, 2013). Entretanto, esse mecanismo afeta a partição de fotoassimilados e reduz a área destinada ao processo fotossintético, o que pode resultar em perdas de produtividade. Portanto, as cultivares RB867515 e RB928064, ao serem submetidas à condição de salinidade, tiveram que limitar o incremento em AF para não perder mais água do que eram capazes de retirar do substrato, o qual apresentava elevada umidade, porém com o potencial osmótico alterado.

Na Figura 10, são apresentados os valores da taxa de incremento de área foliar (TIAF) em função dos GDA, para as quatro cultivares de cana-de-açúcar submetidas a fertirrigação com diferentes CE. Na condição sem estresse salino (Figura – linha continua), observa-se que as cultivares RB867515 e RB928064

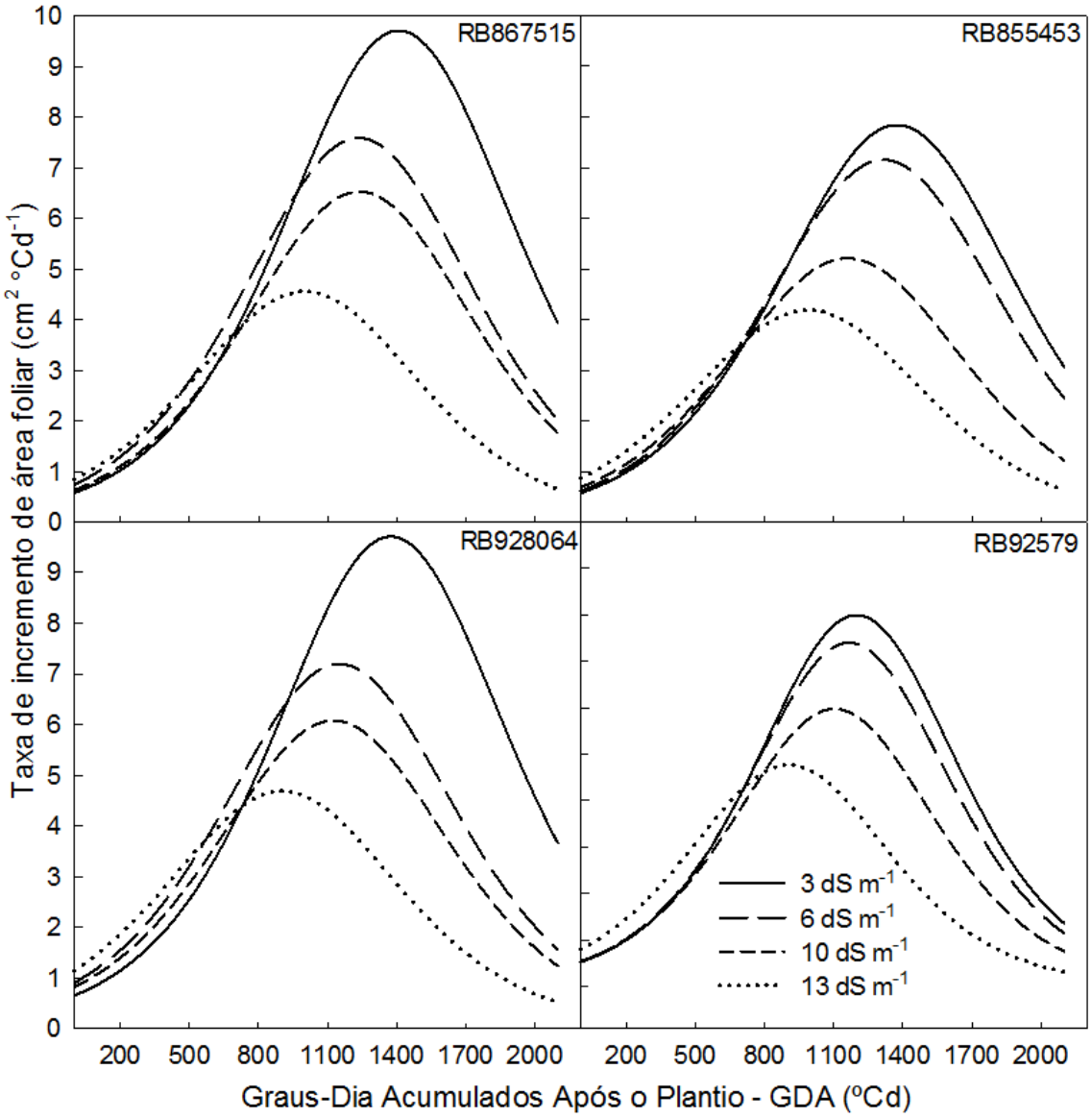

Figura 10. Taxa de incremento de área foliar das cultivares de cana-de-açúcar RB867515, RB855453, RB928064 e RB92579, submetidas a distintos níveis de salinidade, expressos pela condutividade elétrica (CE) de 3, 6, 10 e 13 dS m^{-1}. Os resultados foram obtidos ao longo do crescimento vegetativo, em função dos graus-dia acumulados após o plantio (Tb=10 ℃).

cresceram com a TIAF semelhante, alcançando os maiores valores próximo aos 1400 ℃d, o qual é o mesmo tempo térmico em que a RB855453 a lcança os seus maiores valores de TIAF, porém com reduções em cerca de 19%. A cultivar RB92579, por sua vez, teve valores de TIAF semelhantes aos das cultivares

RB867515 e RB928064, até próximo aos 1100 ℃d, e alcançou os maiores valores próximo de 1200 ℃d, sendo semelhante aos da RB855453.

Nos tratamentos com a adição de NaCl, foram constatadas reduções dos valores da TIAF. Pode ser observado na Figura 10 que até próximo dos 800 ℃d , o comportamento das curvas nos diferentes níveis de salinidade, para uma mesma cultivar, não apresentou grandes variações. Entretanto, após esse período, houve certo afastamento das curvas. Nesse sentido, as cultivares RB867515 e a RB928064 apresentaram as curvas mais afastadas, seguidas da RB855453 e RB92579. Tal afastamento se deve principalmente entre os níveis de 3 e 6 dS m^{-1}, no período do tempo térmico que ocorrem os maiores valores de TIAF. As reduções entre estes níveis foram de 26% para a RB928064 e de 22% para a RB867515, enquanto cultivares RB855453 e RB92579 tiveram redução na ordem de 8%.

Verificou-se que os níveis de salinidade alteraram o posicionamento dos maiores valores da TIAF em relação ao tempo térmico (Figura 10), sendo estes valores representados pelo parâmetro GD_0 (Tabela 3). Em média, os valores de GD_0 das quatro cultivares para o nível de 13 dS m^{-1} foi de aproximadamente 950 ℃d, o que coincide com o período de início de aplicação dos tratamentos e indica que a concentração de 150 mM de NaCl afetou no incremento em área foliar de maneira imediata. Em contraste, os demais níveis com salinidade apresentaram os valores máximos de TIAF posteriormente, no entanto, com valores diferentes entres os níveis de salinidade.

A cana-de-açúcar com plena disponibilidade hídrica, sem impedimentos para a absorção de água, como o causado pela salinidade, tem seu crescimento e desenvolvimento favorecidos, principalmente no estádio de crescimento

rápido. Neste período, ocorrem maiores incrementos em área foliar e melhor aproveitamento da radiação solar para realização da fotossíntese (INMAN-BAMBER & SMITH, 2005). No entanto, segundo SMIT & SINGELS (2006) a limitação da expansão foliar em decorrência da intensificação da salinidade é uma estratégia para diminuir a superfície transpirante e o gasto metabólico para a manutenção dos tecidos. Assim, a estrutura da folha pode ser grandemente afetada por estresses abióticos durante o crescimento (PINCELLI & SILVA, 2012).

Após o início da aplicação dos tratamentos foi observado o menor surgimento de novas folhas, principalmente nos níveis de maior salinidade. Por isso, à medida que as plantas cresceram nestas condições, foi constatado a senescência das folhas. Tal fenômeno pode ser devido aos dois efeitos causados pela salinidade (MUNNS & TESTER, 2008), ou seja, o efeito da alteração do potencial osmótico em torno do sistema radicular, dificultando a absorção d'água e impedindo o maior surgimento de folhas; e o efeito de toxidez por acúmulo de íons no interior das células, devido à senescência das folhas.

Segundo INMAN-BAMBER & SMITH (2005), a expansão das folhas e dos colmos de cana-de-açúcar podem ser usados como indicadores do estresse hídrico. Logo, como a alteração do potencial osmótico é uma forma de provocar o estresse hídrico, pode-se usar estas variáveis para o desenvolvimento de um índice de estresse salino.

3.3.2. Variação da estatura dos colmos

Na Tabela 4 estão disponibilizados os valores estimados dos parâmetros de ajuste do modelo sigmoidal e o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), referentes à estatura dos colmos (EC). O modelo tem como variável independente os graus-dia acumulados após o plantio (GDA). Os resultados são mostrados para as cultivares de cana-de-açúcar RB867515, RB855453, RB928064 e RB92579, as quais foram submetidas à diferentes níveis de salinidade, expressos pela condutividade elétrica (CE).

Tabela 4. Parâmetros estimados pelo modelo sigmoidal (a, b e GD_0) e coeficientes de determinação ajustados (R^2aj) para a estatura dos colmos de cultivares de cana-de-açúcar, em função dos graus-dia acumulados (Tb = 10 ℃) após o plantio. As plantas foram submetidas a diferentes níveis de salinidade, expressas pela condutividade elétrica (CE).

Cultivar	CE	Parâmetros do Modelo Sigmoidal			R^2_{aj}
		a	b	GD_0	
RB867515	3 dS m^{-1}	366,6 (±23)	231,4	926,7 (±31)	0,988
	6 dS m^{-1}	254,2 (±16)	231,4	816,1 (±37)	0,972
	10 dS m^{-1}	240,6 (±14)	231,4	822,2 (±34)	0,977
	13 dS m^{-1}	191,1 (±10)	231,4	735,3 (±36)	0,966
RB855453	3 dS m^{-1}	363,6 (±24)	252,4	930,6 (±34)	0,988
	6 dS m^{-1}	297,0 (±16)	252,4	903,6 (±29)	0,99
	10 dS m^{-1}	227,5 (±11)	252,4	795,9 (±30)	0,983
	13 dS m^{-1}	191,4 (±13)	252,4	730,3 (±49)	0,945
RB928064	3 dS m^{-1}	357,7 (±14)	263,7	960,4 (±21)	0,996
	6 dS m^{-1}	246,6 (±10)	263,7	835,2 (±26)	0,989
	10 dS m^{-1}	222,4 (±11)	263,7	800,1 (±34)	0,98
	13 dS m^{-1}	168,2 (±8)	263,7	648,8 (±41)	0,961
RB92579	3 dS m^{-1}	371,5 (±19)	257,5	930,2 (±27)	0,992
	6 dS m^{-1}	328,2 (±10)	257,5	909,2 (±16)	0,997
	10 dS m^{-1}	232,9 (±10)	257,5	826,9 (±26)	0,989
	13 dS m^{-1}	204,1 (±7)	257,5	764,2 (±26)	0,987

NOTA:1) Os parâmetros do modelo sigmoidal são significativos ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t;

2) Os valores entre parênteses correspondem ao erro padrão de estimativa dos parâmetros;

Para o parâmetro “b” do modelo sigmoidal foram utilizados os valores obtidos por BOEHRINGER (2014) para as mesmas cultivares, em condições sem estresse. Vale enfatizar que o R^2_{aj} apresentou elevados valores, indicando alta correlação entre a variável EC e o tempo térmico, independentemente do nível de estrese salino aplicado.

Na Figura 11, são apresentados os valores observados e as curvas ajustadas pelo modelo sigmoidal para a estatura dos colmos das cultivares de cana-de-açúcar, nas diferentes condições de CE. Observa-se que, com a adição do sal cloreto de sódio (NaCl) à solução nutritiva, houve alteração na estatura dos colmos das quatro cultivares de cana-de-açúcar, sendo que quanto maior a concentração de NaCl, maior foi a redução na estatura dos colmos em relação aos tratamentos que tinham apenas os sais fertilizantes dissolvidos na água de fertirrigação (CE = 3 dS m^{-1}).

Na Figura 12, são apresentados os valores da taxa de elongação dos colmos (TEC) em função dos GDA, para as diferentes cultivares de cana-de-açúcar e níveis de salinidade. Observa-se, em geral, que até 500 ℃d (próxim o aos 60 DAP), as cultivares apresentaram uma TEC semelhante, em torno de 0,15 cm ℃d^{-1}, e posteriormente uma fase de maior crescimento, na qual se nota diferença na TEC entre as cultivares e o efeito causado pela salinidade.

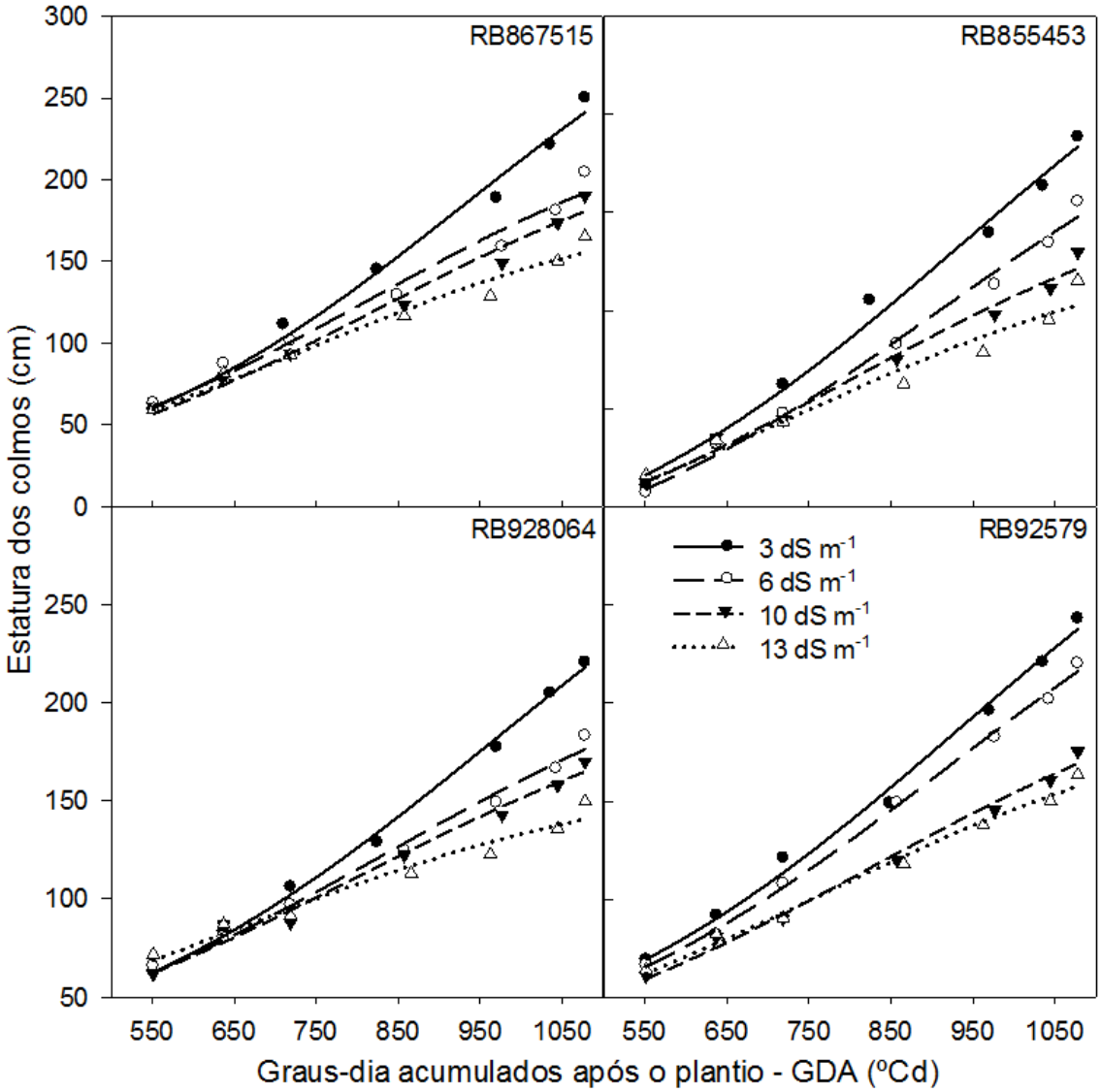

Figura 11. Variação da estatura dos colmos das cultivares de cana-de-açúcar RB867515, RB855453, RB928064 e RB92579, submetidas a distintos níveis de salinidade, expressos pela condutividade elétrica (CE) de 3, 6, 10 e 13 dS m^{-1}. Os resultados foram obtidos ao longo do crescimento vegetativo, em função dos graus-dia acumulados após o plantio (Tb=16 ℃).

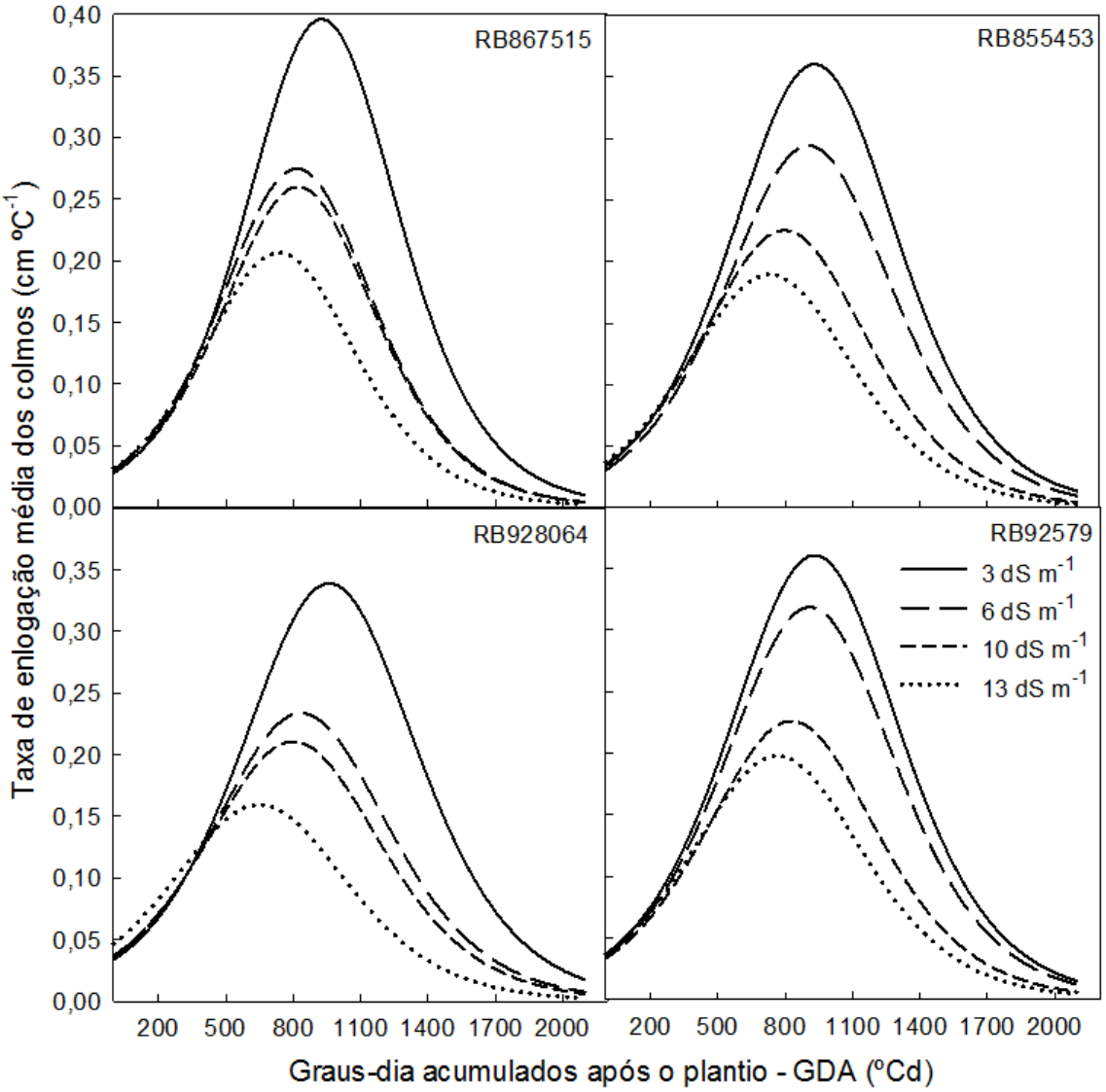

Figura 12. Taxa de elongação média dos colmos das cultivares de cana-de-açúcar RB867515, RB855453, RB928064 e RB92579, submetidas a distintos níveis de salinidade, expressos pela condutividade elétrica (CE) de 3, 6, 10 e 13 dS m^{-1}. Os resultados foram obtidos ao longo do crescimento vegetativo, em função dos graus-dia acumulados após o plantio (Tb=16 ℃).

As cultivares de cana-de-açúcar, na ausência de salinidade (Figura 12-linha continua), atingiram valores máximos de TEC da ordem de 0,40 cm℃d^{-1}, para a cultivar RB867515; de 0,36 cm℃d^{-1} para as cultivares RB855453 e RB92579; e de 0,34 cm℃d^{-1} para a cultivar RB928064. Ao final das campanhas biométricas, essas TEC proporcionaram os seguintes valores de estatura dos colmos, em ordem decrescente: 250, 243, 239 e 221 cm, respectivamente para

as cultivares RB867515, RB92579, RB855453 e RB928064 (Figura 11- linha continua).

BATISTA et al. (2015) aplicaram déficit hídrico nas mesmas cultivares de cana-de-açúcar utilizadas no presente trabalho, e também identificaram duas fases de crescimento das plantas. A primeira do plantio até 550 ºCd (60 DAP), caracterizada por crescimento lento, e a segunda sendo de crescimento rápido e linear a partir dos 550 ºCd. Para as condições sem estresse hídrico, os autores encontraram valores da TEC na ordem de 0,23 cmºCd $^{-1}$ aos 920 ºCd, referente às cultivares RB855453, RB928064 e RB92579. No entanto, para a cultivar RB867515, os valores foram da ordem de 0,26 cmºCd^{-1}, e ocorreu em torno de 1040 ºCd. Esses valores estão, em média, 35% abaixo dos encontrados n este trabalho, sendo que os autores constataram valores da estatura dos colmos, em ordem decrescente, de 182,8 (RB867515), 172,4 (RB928064), 164,4 (RB855453) e 160,8 cm (RB92579).

Segundo OLIVEIRA et al. (2010), ao estudarem o crescimento da parte aérea de onze cultivares de cana-de-açúcar, observaram que o modelo sigmoidal proporciona o melhor ajuste à EC, sendo que todas as cultivares apresentaram pouco incremento na estatura até aos 60 DAP, e com crescimento semelhante. A partir dos 60 DAP, os autores verificaram rápido crescimento, sendo que entre 90 e 150 DAP obtiveram as maiores TEC, variando de valores na ordem de 1,5 a 2,2 cm d^{-1}. Em comparação, considerando a variação da estatura dos colmos entre a terceira (89 DAP) e a sexta campanha de avaliação (146 DAP), encontram-se valores de elongação colmos para esse período, na ordem de 1,9 cm d^{-1} (RB867515), 1,8 cm d^{-1} (RB855453 e RB92579) e de 1,7 cm d^{-1} (RB928064).

Nos tratamentos com adição de 50 mM de NaCl, ou seja, na CE de 6 dS m^{-1} (Figura 11 e 12 - linha descontínua com traço longo), constataram-se reduções nos valores máximos da TEC em relação aos dos tratamentos sem adição de NaCl, na ordem de 31% (RB867515 e RB928064), 18% (RB855453) e 12% (RB92579), o que indica certa tolerância das cultivares RB92579 e RB855453. Com essas reduções, ao final das campanhas biométricas, a estatura dos colmos nesse nível de salinidade, alcançou valores de 220 (RB92579), 206 (RB855453), 205 (RB867515), e 183 cm (RB928064).

Com a aplicação de 100 mM de NaCl, representada pela CE de 10 dS m^{-1} (Figura 11 e 12- linha descontínua com traço curto), observou-se reduções nos valores máximos da TEC, em relação aos dos tratamentos sem adição de NaCl, na ordem de 34% para a cultivar RB867515 e de 38% para as cultivares RB855453, RB928064 e RB92579. O que resultou, ao final das campanhas, valores de 190,3 (RB867515), 179,8 (RB855453), 175,3 (RB92579) e 170,0 cm (RB928064) para a EC.

Já nos tratamentos com 150 mM de NaCl (CE de 13 dS m^{-1}) (Figura 11 e 12 - linha pontilhada), constatou-se reduções nos valores máximos da TEC, em relação aos dos tratamentos sem adição de NaCl, na ordem de 53% para a cultivar RB928064 e de 47% para as cultivares RB867515, RB855453 e RB92579. Com as reduções causadas por esse nível de salinidade, a EC alcançou valores de 165,3 (RB867515 e RB855453), 163,3 (RB92579) e 149,7 cm (RB928064), ao final das campanhas de biometria.

3.4. Análises morfológicas de cultivares de cana-de-açúcar ao final do experimento

A análise de variância dos dados morfológicos indicou interação significativa ($p<0,05$), entre os fatores cultivares de cana-de-açúcar e salinidade, apenas para as variáveis massa fresca das folhas (MFF) e área foliar (AF), conforme mostrado nas Tabelas 5 e 6, respectivamente. Quando se avaliou o fator cultivar, não houve diferença significativa para as variáveis massa seca do colmo (MSC) e massa seca total (MST), sendo que as demais variáveis morfológicas apresentaram diferença significativa (Tabela 7). Já em relação ao fator salinidade, comprovou-se que todas as variáveis morfológicas avaliadas responderam negativamente ao incremento da salinidade, sendo apresentados, posteriormente, os gráficos com as respectivas equações de regressão da resposta das cultivares de cana-de-açúcar ao incremento da salinidade para cada variável morfológica.

Os resultados da interação entre os fatores cultivar e níveis de salinidade, referentes às partes foliares da cana-de-açúcar, sugerem que, à medida que ocorre intensificação da salinidade, as diferenças das variáveis MFF e AF entre as cultivares tornam-se cada vez menos evidentes (Tabela 5 e 6). Assim, diferenças mais pronunciadas de área foliar entre as cultivares, constatadas para valores de CE de 3 dS m^{-1} não são observadas para os de 13 dS m^{-1}. No entanto, como será visto adiante, a redução mais expressiva da área foliar para as cultivares RB867515 e RB928064 não caracterizou uma redução de mesma proporção para a estatura e massa fresca dos colmos e no volume dos internódios.

Tabela 5. Interação entre cultivares de cana-de-açúcar e níveis de salinidade, expressos pela condutividade elétrica, para a massa fresca das folhas (g/planta).

Cultivar	Condutividade elétrica – CE (dS m^{-1})				Média
	3	6	10	13	
RB92579	365,6 c A	332,0 b A	274,4 a B	207,3 a C	295
RB855453	435,6 b A	403,4 a A	287,1 a B	243,7 a B	343
RB867515	479,2 a b A	393,5 a B	315,8 a C	246,9 a D	358
RB928064	530,4 a A	398,1 a B	308,4 a C	251,5 a D	372
Média	452,7	381,8	296,4	237,4	342,1

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna (CE) ou letras maiúsculas na linha (cultivar) diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p<0,05$).

Tabela 6. Interação entre cultivares de cana-de-açúcar e níveis de salinidade, expressos pela condutividade elétrica, para a área foliar (cm^2).

Cultivar	Condutividade elétrica – CE (dS m^{-1})				Média
	3	6	10	13	
RB855453	9334 b A	8840 a A	6670 a B	5651 a B	7624
RB92579	9466 b A	8847 a A	7166 a b B	5672 a C	7788
RB867515	11687 a A	9810 a B	8068 a C	6113 a D	8920
RB928064	11691 a A	9282 a B	7568 a b C	6009 a D	8638
Média	10545	9195	7368	5861	8242

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna (CE) ou letras maiúsculas na linha (cultivar) diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p<0,05$).

Tabela 7. Estatura dos colmos (EC), diâmetro médio dos colmos (DMC), número de folhas verdes (NF), área foliar (AF), massa fresca das folhas (MFF), massa seca das folhas (MSF), massa fresca do colmo (MFC), massa seca do colmo (MSC), massa seca total da parte aérea (MST), volume total de internódios (VTI) referentes às cultivares de cana-de-açúcar.

Cultivar	MFF* (g)	AF* (cm^2)	NF*	MSF** (g)	MFC** (g)
RB855453	343 b	7623,8 b	17,3 b	98,6 a	1602,2 a b
RB92579	295 c	7787,9 b	20,5 a	84,2 b	1508,3 b
RB928064	372 a	8637,8 a	16,8 b	91,4 a b	1524,9 b
RB867515	358 a b	8919,5 a	15,5 b	97,2 a	1664,8 a
Média	342,1	8242,2	17,5	92,9	1575
Cultivar	**MSC^{ns} (g)**	**MST^{ns} (g)**	**VTI** (cm^3)**	**EC** (cm)**	**DMC* (cm)**
RB855453	313,7 a	495,8 a	1266,4 a b	197,4 a	3,22 a
RB92579	323,4 a	483,1 a	1179,7 b	200,6 a	3,10 b
RB928064	288,8 a	466,6 a	1166,5 b	181,0 b	3,27 a
RB867515	297,7 a	478,9 a	1328,2 a	202,7 a	3,18 a b
Média	305,9	481,1	1235,2	195,4	3,19

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo Teste de Tukey.
* para $p<0,05$, ** para $p<0,01$ e ^{ns} para não-significativo.

Pode ser observado que houve uma resposta estatística semelhante para as variáveis MFF e AF, ou seja, as cultivares RB867515 e RB928064 apresentaram os maiores valores de MFF e AF, tendo diferença significativa para cada incremento de salinidade. Por outro lado, as cultivares RB855453 e RB92579 apresentaram menores valores de MFF e de AF, porém o incremento de salinidade diferiu a partir do nível de 6 dS m^{-1}, indicando possível tolerância dessas cultivares a salinidade. Vale ressaltar que a RB855453 teve a menor diferença significativa entre o nível de 3 e 13 dS m^{-1} (Tabela 5 e 6).

Na Tabela 7, observa-se que a cultivar RB867515 apresentou os melhores resultados estatísticos em comparação as demais cultivares. Contudo, destacando as variáveis MFC e VTI, as quais se relacionam com a produtividade da cultura, verifica-se que a cultivar RB867515 possui valores estatisticamente maiores às cultivares RB928064 e RB92579, sendo estatisticamente semelhante a cultivar RB855453, que por sua vez, é estatisticamente semelhante as RB928064 e RB92579.

Entre as quatro cultivares, observa-se que a RB928064 apresentou os menores valores médios da estatura dos colmos, sob os distintos níveis de salinidade, e diferenciando-se estatisticamente das demais cultivares. Já ao analisar o diâmetro médio dos colmos, observa-se que as cultivares RB855453, RB928064 e RB867515 não diferem estatisticamente, assim como, as cultivares RB867515 e RB92579 (Tabela 7).

A análise do número de folhas verdes (NF) mostra que a RB92579 possui a maior quantidade de NF, diferindo estatisticamente das demais cultivares. Porém, avaliando-se a MFF, observa-se que a RB92579 apresenta a menor massa em comparação às demais cultivares. Essa relação inversa pode ser explicada pela espessura e formato das folhas, sendo que o menor comprimento

foliar é uma característica da RB92579. Segundo SINCLAIR et al. (2004), plantas com maiores valores de AF podem apresentar melhor produtividade devido à alta capacidade de interceptar a radiação fotossinteticamente ativa, com o consequente acúmulo de biomassa pelo aumento da fotossíntese. Dessa forma, a cultivar RB92579 compensa parcialmente sua AF apresentando maior NF.

Ao analisar a massa seca das folhas (MSF) na Tabela 7, notam-se resultados diferentes em relação aos de massa fresca das folhas (MFF), sendo o maior destaque para a cultivar RB855453, pois embora não apresente o maior valor para MFF, foi a que apresentou uns dos maiores valores de MSF. As folhas da cultivar RB855453 apresentam nervura central da folha mais espessa e larga em relação às demais cultivares, e após o processo de secagem, este fato pode ter influenciado na massa da matéria seca final das folhas.

Na avaliação da massa fresca dos colmos (MFC) verificou-se que as cultivares RB867515 e a RB855453 apresentaram os maiores valores e não diferem entre si, e que a cultivar RB855453 também não diferiu estatisticamente das cultivares RB92579 e RB928064 (Tabela 7). Este mesmo resultado estatístico ocorreu com a variável morfológica volume total de internódios (VTI), indicando que existe uma relação entre essas variáveis.

SILVA (2009), analisando o crescimento da cultivar RB92579 no ciclo de cana-soca sob as condições climáticas do Submédio do Vale do São Francisco, também encontrou uma relação entre a massa fresca dos colmos e o volume total do colmo, a qual apresentou coeficiente de determinação de 0,97.

As respostas quantitativas da MFF (Figura 13) e da AF (Figura 14), em relação aos diferentes níveis de salinidade, foram ambas descritas pelo modelo linear de regressão. Pelas Figura 13 e Figura 14, é possível verificar, com relação

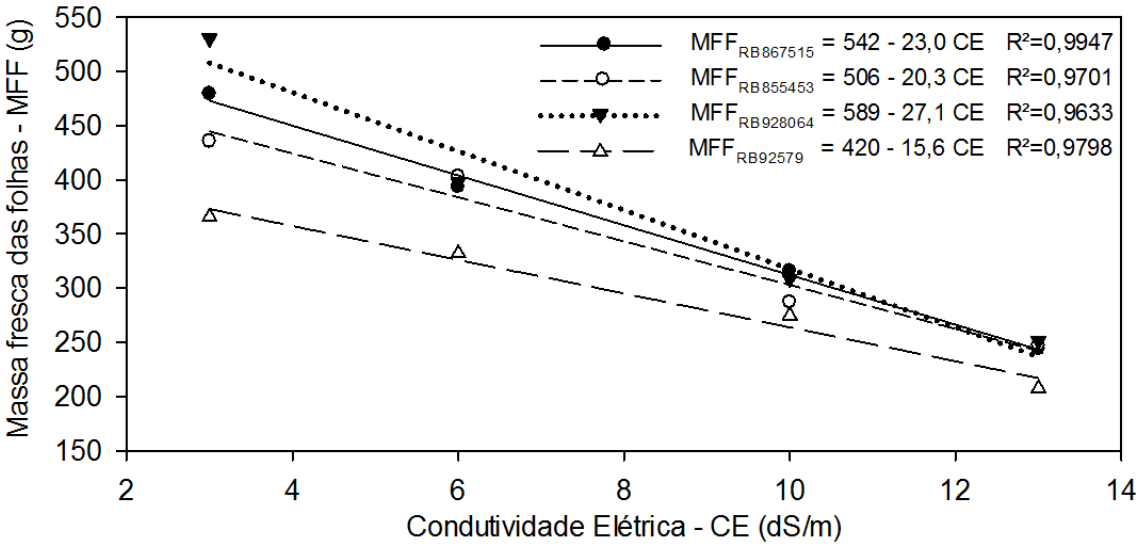

Figura 13. Regressão linear para a massa fresca das folhas (MFF) das cultivares RB867515, RB855453, RB928064 e RB92579 de cana-de-açúcar, submetidas à aplicação de fertirrigação com condutividade elétrica de 3, 6, 10 e 13 dS m^{-1}, aos 166 DAP dentro de uma casa-de-vegetação, em Viçosa-MG.

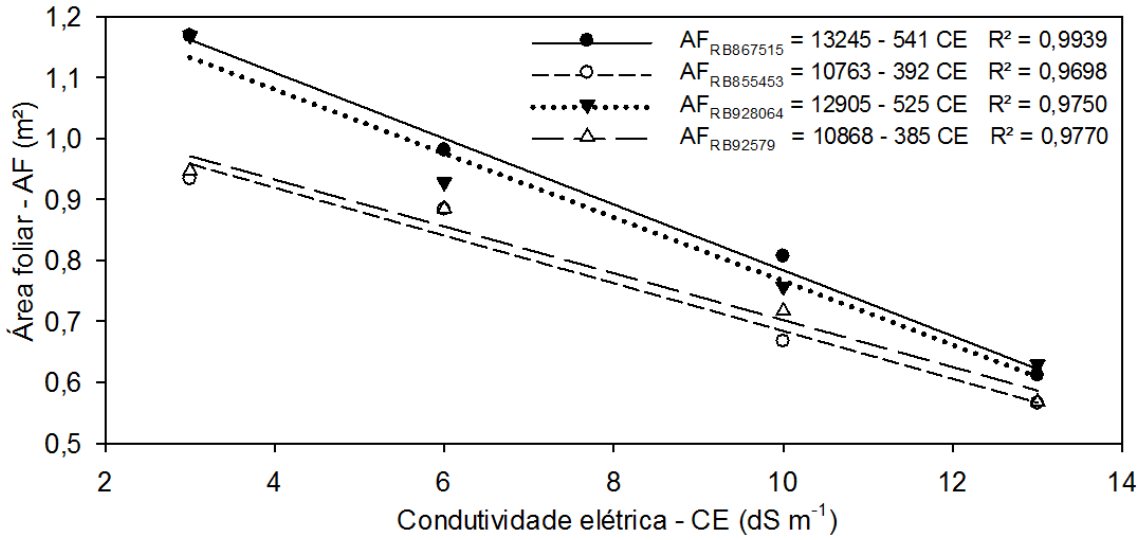

Figura 14. Regressão linear para a área foliar (AF) das cultivares RB867515, RB855453, RB928064 e RB92579 de cana-de-açúcar, submetidas à aplicação de fertirrigação com condutividade elétrica de 3, 6, 10 e 13 dS m^{-1}, aos 166 DAP dentro de uma casa-de-vegetação, em Viçosa-MG ($p<0,05$).

a possível tolerância das cultivares RB855453 e RB92579, que foram as duas cultivares que apresentaram os maiores valores do coeficiente angular da reta, ou seja, para cada unidade de incremento da CE houve menor decréscimo nos

valores de MFF e, principalmente, de AF. As porcentagens de redução entre o nível de 3 e de 13 dS m^{-1}, para a variável AF das cultivares RB855453 e RB92579 foram cerca de 40%, enquanto para as cultivares RB867515 e RB928064 cerca de 46%.

Ainda, observa-se que as cultivares, RB855453, RB867515 e RB928064 tiveram decréscimo variado na MFF com o incremento da salinidade, porém no nível de 13 dS m^{-1} apresentaram valores próximos, sendo a porcentagem de redução entre o nível de 3 e de 13 dS m^{-1}, respectivamente, em ordem crescente, de 46, 49 e 53%. A cultivar RB92579, por sua vez, teve uma redução de 42% entre esses mesmos níveis (Figura 13).

FAGUNDES (2012), ao estudar o desenvolvimento inicial das cultivares de cana-de-açúcar RB002504, RB931011 e RB867515 submetidas a cinco níveis de compactação do solo, também encontrou interação significativa para a MFF e AF. Segundo WAHID (2004), em condições de estresses ambientais, como o estresse salino, genótipos sensíveis seriam mais prejudicados por reduzirem sua massa de folhas e sua área foliar.

HICHEM et al. (2009) estudaram a resposta das variedades Aristo e Arper de milho, submetidas a aplicação de solução nutritiva de Hoagland com a adição de 0, 34, 68 e 102 mM de NaCl, durante seis semanas em ambiente controlado, encontrando um decréscimo significativo na área foliar. A variedade Aristo apresentou diferença entre todos os níveis de salinidade, enquanto a variedade Arper se diferenciou a partir do nível de 68 mM de NaCl, porém a redução entre o nível de 0 e 102 mM foi cerca de 60% para a Aristo e cerca de 52% para a Arper. Estes autores não observaram diferença no conteúdo de água nas folhas da variedade Arper, sendo indicativo da tolerância desta variedade, ao contrário

da variedade Aristo, que apresentou efeito dos níveis de salinidade sobre o conteúdo de água nas folhas.

O teor de água das folhas apresentou redução entre os níveis de 3 e de 13 dS m^{-1}. As cultivares RB855453 (43,22%) e RB92579 (44,11%) apresentaram menores reduções em relação as cultivares RB867515 (51,63%) e RB928064 (55,81%). Os efeitos da salinidade e da diferença entre as cultivares sobre o teor de água nas folhas corroboram com os resultados obtidos por HICHEM et al. (2009).

Na Figura 15 são verificadas as respostas do número de folhas verdes (NF) aos níveis de CE. O aumento da CE diminuiu o número de folhas das cultivares. Os menores NF nas cultivares RB867515, RB928064 e RB92579 ocorreram, respectivamente, nas CE de 9,7, 10,6 e 12,8 dS m^{-1}. Em relação a CE de 3 dS m^{-1}, a redução para a cultivar RB92579 foi de 24%, e para as cultivares RB867515 e RB928064 cerca de 31%. Já a cultivar RB855453 apresentou uma redução de 28% entre o nível de 3 para 13 dS m^{-1}.

SIMÕES et al. (2016) pesquisaram a aplicação de seis níveis de salinidade na água de irrigação (0, 1, 2, 4, 6 e 8 dS m^{-1}) em dez cultivares de cana-de-açúcar plantadas em vasos de oito litros até os 60 DAP, verificando diferenças significativas entre as cultivares para a variável NF. Porém, as cultivares RB867515 e RB92579 estudadas por eles apresentaram o mesmo número de folhas, e também não encontraram efeito significativo do NF para o fator salinidade. Todavia, os autores também observaram que não há uma

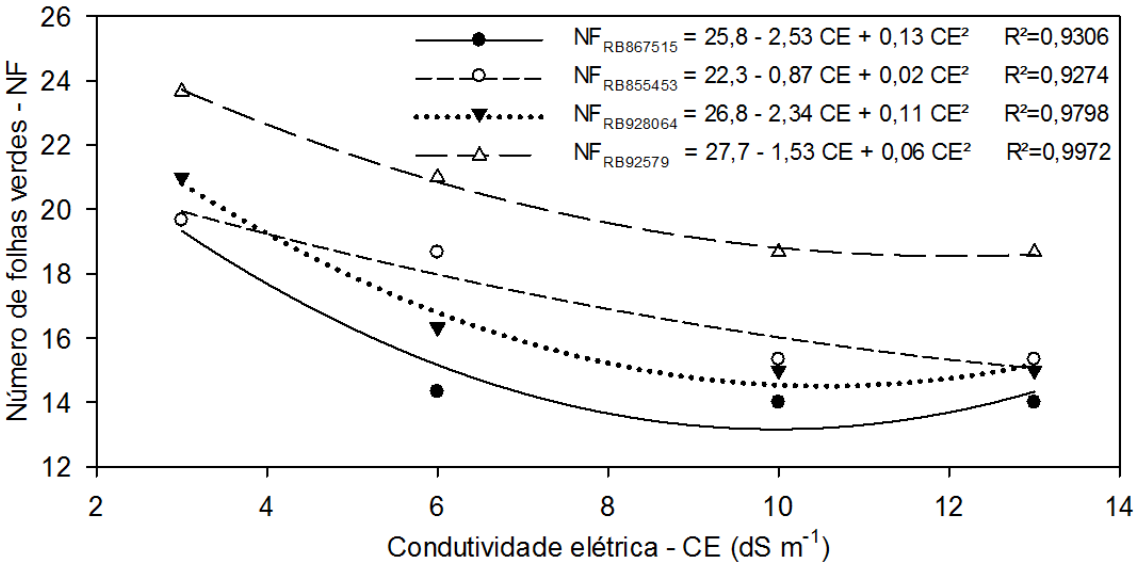

Figura 15. Regressão quadrática para o número de folhas verdes (NF) das cultivares RB867515, RB855453, RB928064 e RB92579 de cana-de-açúcar, submetidas à aplicação de fertirrigação com condutividade elétrica de 3, 6, 10 e 13 dS m^{-1}, aos 166 DAP dentro de uma casa-de-vegetação, em Viçosa-MG ($p<0,05$).

relação direta entre os valores de NF e de AF. As explicações das diferenças obtidas por estes autores, em relação a esta pesquisa, podem ser devido ao período e duração do cultivo.

SILVA et al. (2012) avaliaram a biometria da parte aérea da cana-soca irrigada, cultivar RB92579, no Submédio do Vale do São Francisco, e verificaram um acúmulo do número de folhas verdes completamente expandidas de aproximadamente 24 folhas até o final do ciclo da cultura. Este valor está bem próximo ao encontrado neste trabalho para a cultivar RB92579.

As respostas quantitativas da MSF em relação aos diferentes níveis de salinidade foram descritas pelo modelo linear de regressão (Figura 16). Constata-se, como mostrado na Tabela 7, que as cultivares RB855453 e

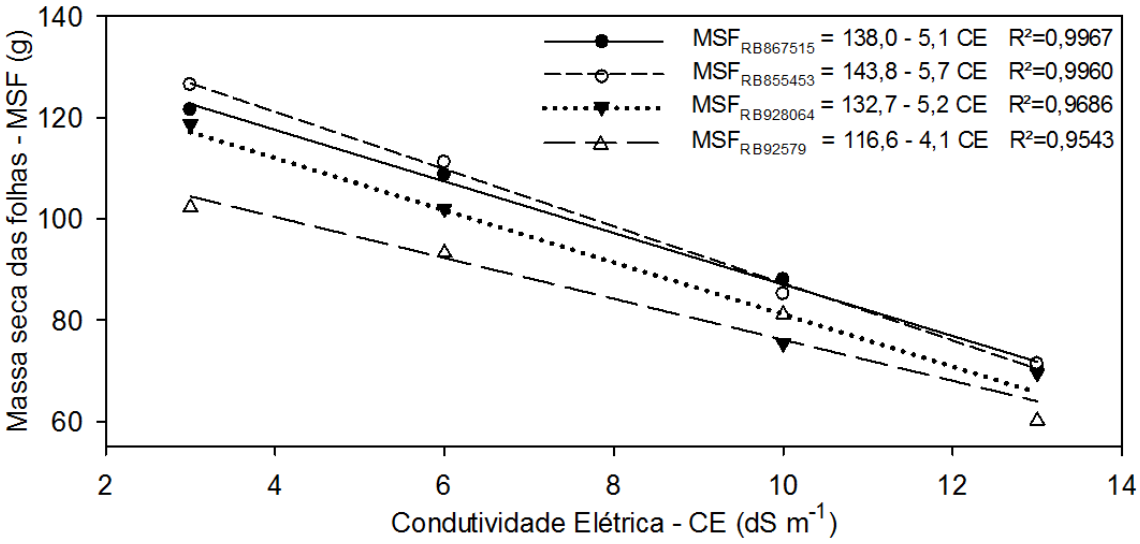

Figura 16. Regressão linear para a matéria seca das folhas (MSF) das cultivares RB867515, RB855453, RB928064 e RB92579 de cana-de-açúcar, submetidas à aplicação de fertirrigação com condutividade elétrica de 3, 6, 10 e 13 dS m^{-1}, aos 166 DAP dentro de uma casa-de-vegetação, em Viçosa-MG ($p<0,01$).

RB867515 têm comportamento semelhante, seguido da cultivar RB928064, e uma maior diferenciação para a cultivar RB92579. As porcentagens de redução entre os níveis extremos de salinidade, expressos pelos valores de condutividade elétrica de 3 e 13 dS m^{-1}, foram de 39, 42, 44 e 45%, respectivamente, para as cultivares RB92579, RB867515, RB928064 e RB855453.

HICHEM et al. (2009) encontraram decréscimo significativo na massa seca das folhas, sendo que a variedade Aristo apresentou diferença significativa entre todos os níveis de salinidade, enquanto a variedade Arper se diferenciou a partir do nível de 68 mM de NaCl. A redução de matéria seca foliar entre o nível de 0 e 102 mM de NaCl foi 46% para as duas variedades.

As respostas quantitativas da MFC, em relação aos diferentes níveis de salinidade, foram descritas pelo modelo quadrático de regressão (Figura 17), sendo os pontos de mínimo representados fora da faixa estudada.

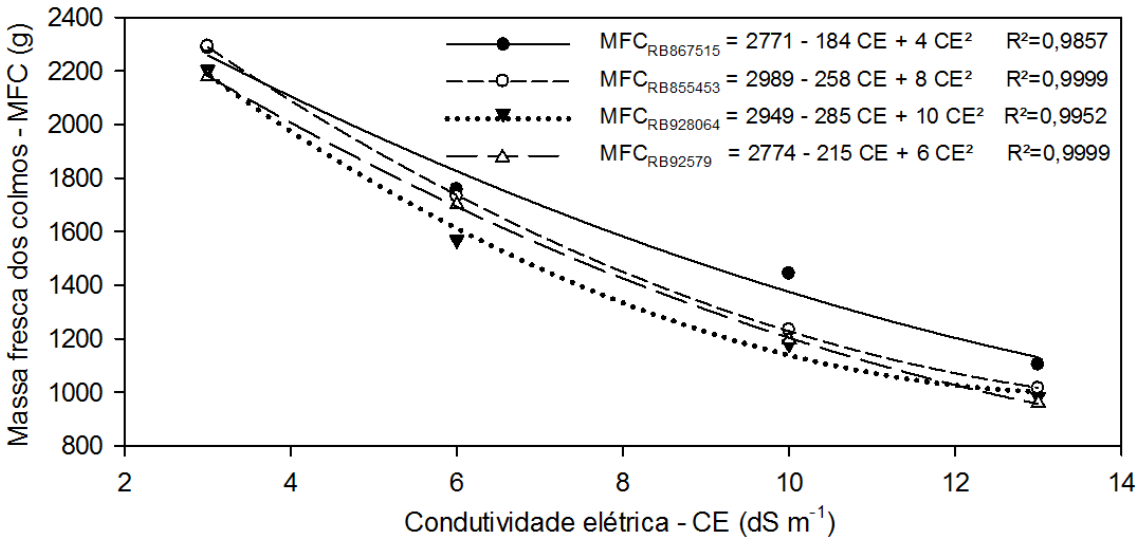

Figura 17. Regressão quadrático para a massa fresca dos colmos (MFC) das cultivares RB867515, RB855453, RB928064 e RB92579 de cana-de-açúcar, submetidas à aplicação de fertirrigação com condutividade elétrica de 3, 6, 10 e 13 dS m^{-1}, aos 166 DAP dentro de uma casa-de-vegetação, em Viçosa-MG ($p<0,01$).

As porcentagens de redução entre os níveis com CE de 3 e de 13 dS m^{-1}, foram de cerca de 53, 55 e 57%, respectivamente para as cultivares RB867515, RB92579 e RB855453/RB928064.

O colmo da cana-de-açúcar é a parte de maior interesse econômico, pois é nele que ocorre o acúmulo de sacarose (MARAFON et al. 2012). Portanto, a cultivar RB867515 pode ser indicada para locais que possuem problemas com a salinidade, a fim de proporcionar um menor decréscimo na sua produtividade final.

O modelo de regressão que melhor se ajustou aos dados de matéria seca dos colmos (MSC) em resposta aos níveis de salinidade, foi o quadrático (Figura 18). A porcentagem de redução entre o nível de 3 e de 13 dS m^{-1} para a cultivar RB867515 foi de 48%, para a RB928064 e RB92579 de 52%, e para a cultivar

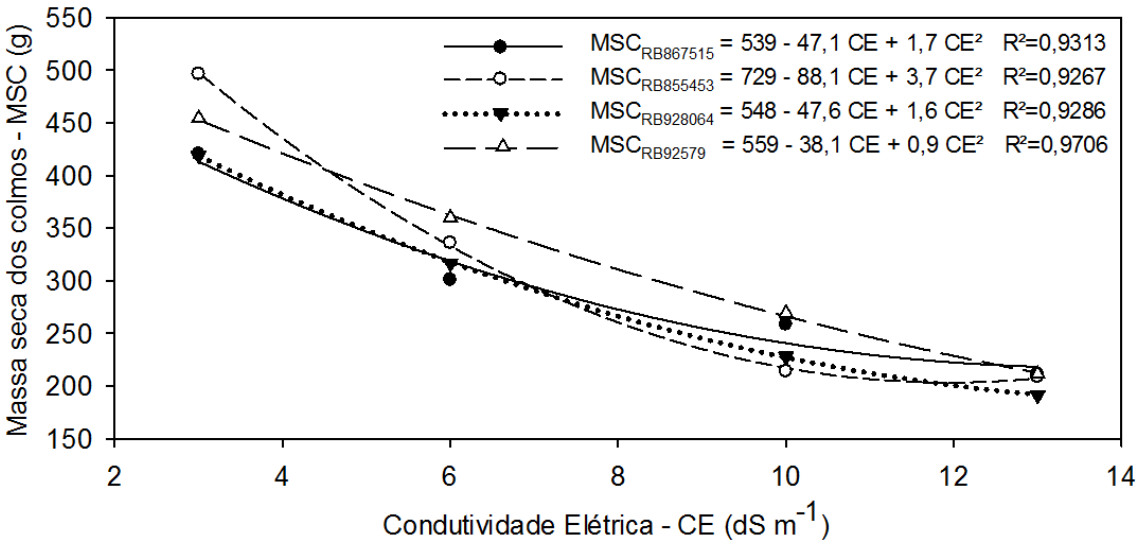

Figura 18. Regressão quadrático para a massa seca dos colmos (MFC) das cultivares RB867515, RB855453, RB928064 e RB92579 de cana-de-açúcar, submetidas à aplicação de fertirrigação com condutividade elétrica de 3, 6, 10 e 13 dS m^{-1}, aos 166 DAP dentro de uma casa-de-vegetação, em Viçosa-MG ($p<0,01$).

RB855453 de 58%. Considerando-se que a diferença entre os valores da massa fresca com os da massa seca dos colmos serve como indicativo da capacidade de armazenamento de caldo no colmo, observa-se que a cultivar RB867515 apresentou valores baixos para MSC, principalmente nos níveis de 3 e de 6 dS m^{-1}, e valores altos na variável MFC, o que representa melhor capacidade de acúmulo de caldo, por parte desta cultivar.

SILVA et al. (2012) encontraram um coeficiente de determinação de 0,98 para a relação entre a estatura média dos colmos e a massa seca dos colmos sem pseudocolmo. Considerando a equação apresentada pelos pesquisadores, e aplicando o valor da estatura obtida no final deste experimento para a cultivar RB92579 (EC = 243,3 cm), é obtido o valor de 345,1 g para a massa seca dos colmos, o qual é um valor inferior ao encontrado no presente trabalho (próximo de 450 g para a MFC na CE de 3 dS m^{-1}).

As respostas quantitativas da MST (Figura 19), em relação aos diferentes níveis de salinidade foram descritas pelo modelo quadrático de regressão, sendo que a redução percentual entre os níveis de 3 e 13 dS m^{-1}, foi cerca de 46% em média para as quatro cultivares. PATADE et al. (2011), ao aplicarem água com 150 mM de NaCl em plantas de cana-de-açúcar durante 15 dias após os 150 DAP, também observaram redução significativa na massa seca da parte aérea, área foliar e conteúdo de proteína, em comparação com as plantas controle.

Resultados diferentes a esta pesquisa foram obtidos por SOUSA et al. (2010), que determinaram o acúmulo de biomassa, aos 90 dias após a semeadura, de plantas de milho híbrido AG1051, que foram submetidas a quatro valores de condutividade elétrica (0,8; 2,2; 3,6 e 5,0 dS m^{-1}). Os autores não encontraram diferença significativa entre os níveis aplicados para o acúmulo de biomassa da parte vegetativa, representada pelas folhas, limbo foliar e colmo. Em contraste, foi verificado que, a partir do ajuste de um modelo de regressão quadrático, a biomassa dos grãos e sabugo decresceu com o aumento da concentração salina na água de irrigação. Os autores comentaram que as plantas de milho, assim como a cana-de-açúcar, apresentam rota C4 na absorção de nutrientes, o que pode ter causado efeito de acúmulo de íons tóxicos como o Na^+ e Cl^- presentes nos sais da água de irrigação.

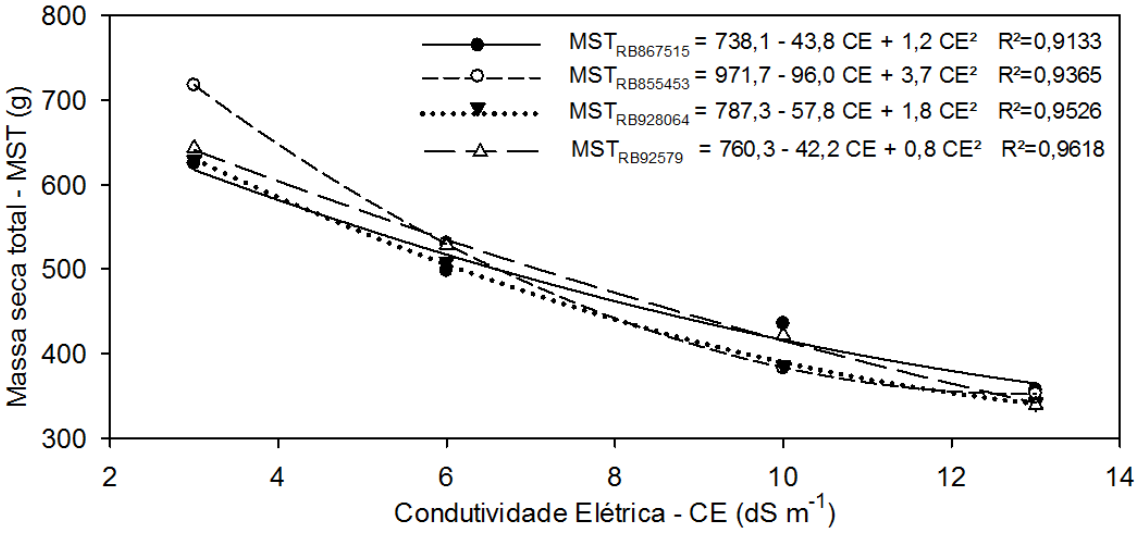

Figura 19. Regressão quadrático para a massa seca total da parte aérea (MST) por planta, das cultivares RB867515, RB855453, RB928064 e RB92579 de cana-de-açúcar, submetidas à aplicação de fertirrigação com condutividade elétrica de 3, 6, 10 e 13 dS m^{-1}, aos 166 DAP dentro de uma casa-de-vegetação, em Viçosa-MG ($p<0,01$).

NAZÁRIO et al. (2013) analisaram o efeito da aplicação de cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (0,1; 0,8; 1,6; 2,4 e 3,2 dS m^{-1}), sobre a massa seca da parte aérea da cultivar PL6880 de milho nas quatro fases fenológicas. Esses autores não encontraram efeito na fase de crescimento vegetativo, enquanto a de floração e de maturação fisiológica houve decréscimo linear com aumento da condutividade elétrica da água. Na fase de enchimento de grãos, a planta apresentou redução da matéria seca da parte aérea até a condutividade de 2,1 dS m^{-1}, e posterior acréscimo. Os autores elucidam sobre um possível ajuste osmótico da planta em condições de salinidade, evitando perda de turgor e, assim, mantém o crescimento celular.

Na Figura 20, encontra-se as respostas quantitativas do VTI em relação aos diferentes níveis de salinidade, expressos pela condutividade elétrica, sendo melhor representadas pelo modelo quadrático de regressão. As porcentagens

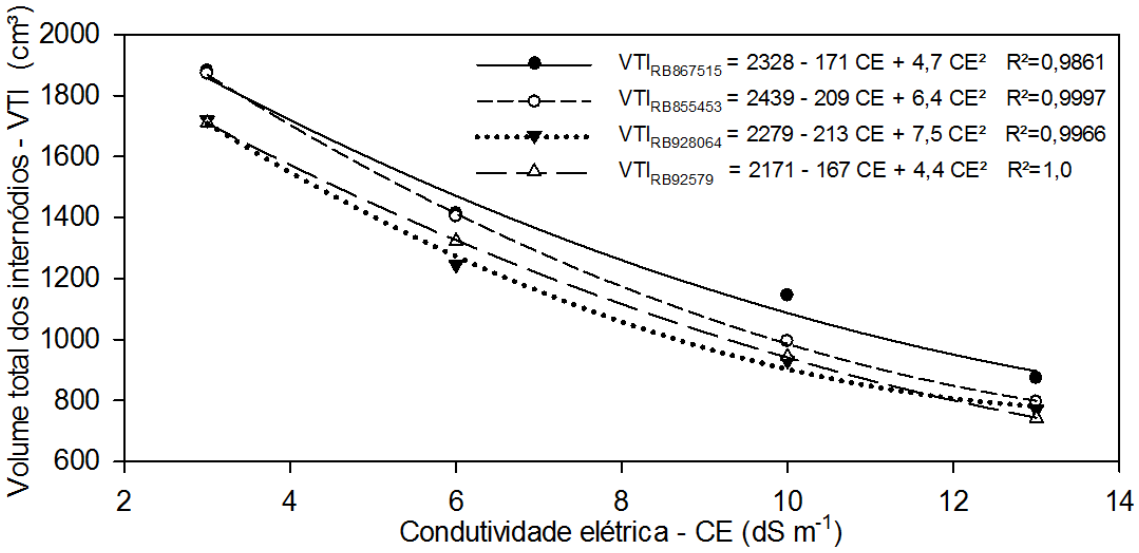

Figura 20. Regressão quadrático para volume total dos internódios (VTI) das cultivares RB867515, RB855453, RB928064 e RB92579 de cana-de-açúcar, submetidas à aplicação de fertirrigação com condutividade elétrica de 3, 6, 10 e 13 dS m^{-1}, aos 166 DAP dentro de uma casa-de-vegetação, em Viçosa-MG ($p<0,01$).

de redução entre o nível de 3 e de 13 dS m^{-1} foram, em média, cerca de 53%, para as cultivares RB867515 e RB928064, e de 57% para as cultivares RB855453 e RB92579.

Com referência a estatura dos colmos (EC), o modelo de regressão que melhor se ajustou em resposta aos níveis de salinidade, expressos pela condutividade elétrica, foi o quadrático (Figura 21).

A partir da imposição de restrição hídrica para a cana-de açúcar, MACHADO et al. (2009), observaram na condição de boa disponibilidade hídrica, valores de estatura dos colmos de 170 e 250 cm, respectivamente para as cultivares IACSP 94-2094 e IACSP 96-2042 próximo aos 166 DAP. OLIVEIRA et al. (2010) também observaram grande variação na estatura dos colmos para 11 cultivares de cana-de-açúcar, para o mesmo DAP citado,

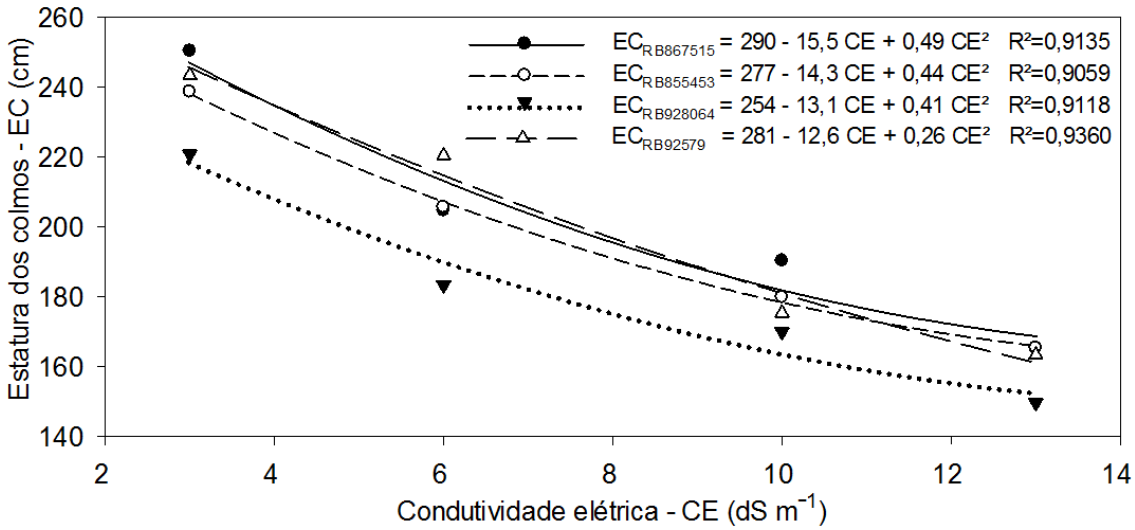

Figura 21. Regressão quadrático para a estatura dos colmos (EC) das cultivares RB867515, RB855453, RB928064 e RB92579 de cana-de-açúcar, submetidas à aplicação de fertirrigação com condutividade elétrica de 3, 6, 10 e 13 dS m^{-1}, aos 166 DAP dentro de uma casa-de-vegetação, em Viçosa-MG ($p<0,05$).

encontrando valores na ordem de 140 e 225 cm, o que corrobora com a diferença na estatura dos colmos entre as cultivares, nas condições sem a adição de NaCl.

SIMÕES et al. (2016) também verificaram regressão quadrática para o efeito da salinidade na estatura dos colmos, sendo que ocorreu redução de 38% na estatura, proporcionada pelo maior de nível de CE em relação à condição sem salinidade. Nesta pesquisa, a porcentagem de redução entre o nível com CE de 3 e de 13 dS m^{-1} foi de aproximadamente 31% em média.

BLANCO et al. (2007) avaliaram o crescimento e a produção do milho, híbrido AG6690, em dois períodos de semeio, o qual foi irrigado com água contendo diferentes níveis de salinidade (de 0,3 até 5,9 dS m^{-1}) e mantida sob condição de ambiente controlado. No primeiro período, os autores encontraram redução de cerca de 47% e de 74%, respectivamente para a altura das plantas

e massa seca total. Similarmente, no segundo período, houve redução em cerca de 53% para a altura e de 88% para a massa seca total.

Na Figura 22, são verificadas as respostas quantitativas do diâmetro médio dos colmos (DMC) em função dos diferentes níveis de salinidade, expressos pela condutividade elétrica, sendo melhor representadas pelo modelo linear de regressão. A porcentagem de redução entre o nível de 3 e de 13 dS m^{-1} foi de 14,5% para as cultivares RB855453, RB928064 e RB92579, e de 12% para a cultivar RB867515.

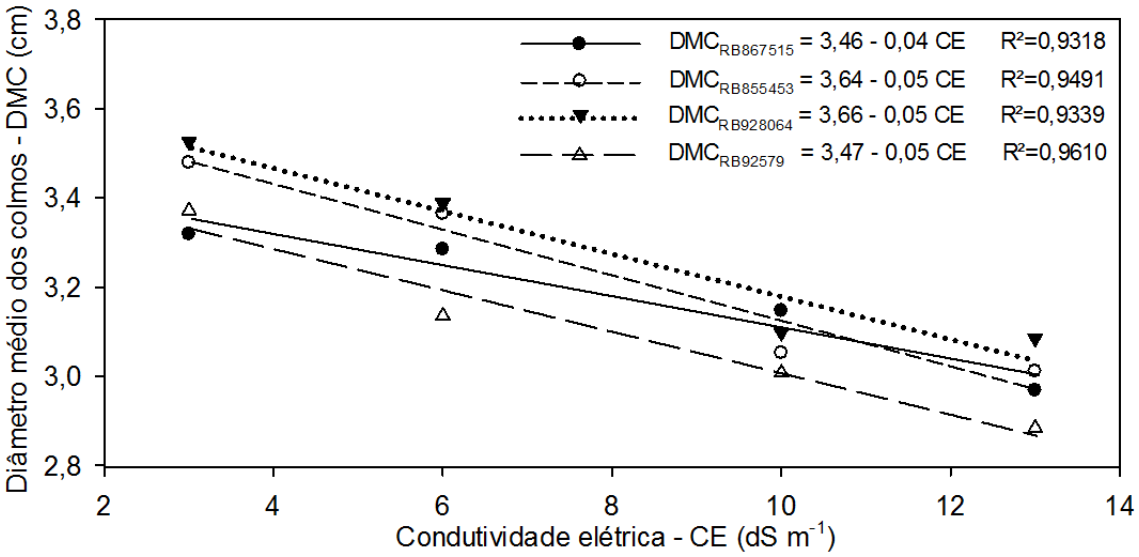

Figura 22. Regressão linear para o diâmetro médio do colmo (DMC) das cultivares RB867515, RB855453, RB928064 e RB92579 de cana-de-açúcar, submetidas à aplicação de fertirrigação com condutividade elétrica de 3, 6, 10 e 13 dS m^{-1}, aos 166 DAP dentro de uma casa-de-vegetação, em Viçosa-MG.

4. CONCLUSÕES

O parâmetro fator de forma apresentou valores diferentes entre as cultivares e os diferentes níveis de salinidade, pois esses fatores modificaram o comprimento e a largura das folhas, causando alterações nos valores desse indicador morfológico.

Sob ausência de estresse salino, as taxas de crescimento de área foliar e de elongação dos colmos foram superiores durante a fase de formação. Porém, o incremento da salinidade causou reduções, sendo que as cultivares RB867515 e RB928064 apresentaram as maiores reduções, principalmente entre os níveis de 3 e 6 dS m^{-1}, enquanto as cultivares RB855453 e RB92579 apresentaram as curvas das taxas de crescimento mais próximas.

Verificou-se que os níveis de salinidade alteraram o posicionamento do parâmetro GDo, ou seja, a ocorrência dos picos das taxas de incremento foliar e de elongação dos colmos foram antecipados, além de possuírem valores inferiores ao tratamento controle. Sendo que o nível com condutividade elétrica de 13 dS m^{-1} afetou as taxas logo após a implementação dos tratamentos.

O efeito da salinidade nas cultivares RB867515 e RB928064 para as variáveis morfológicas área foliar e massa fresca das folhas foram mais pronunciados do que para as cultivares RB855453 e RB92579. No entanto, não caracterizou uma redução de mesma proporção em outras variáveis.

Foi verificado para a cultivar RB867515 a menor porcentagem de redução entre as condutividades elétricas de 3 e de 13 dS m^{-1}, seguida das

cultivares RB92579, RB855453 e RB928064 para variável massa fresca dos colmos, principal variável relacionada a produtividade da cultura.

As cultivares RB855453 e RB867515 apresentaram os maiores valores de volume total de internódios, influenciando na massa fresca dos colmos. Apesar disso, todas as cultivares não se diferenciaram em termos de matéria seca dos colmos e total das plantas, e apresentaram porcentagens de redução semelhantes entre as condutividades elétricas de 3 e 13 dS m^{-1}.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.: PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**: guidelines for computing crop requiriments. Roma: FAO, 1998. 328p. (Irrigation and drainage paper, 56).

ALMEIDA, A. C. S.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; BARBOSA, G. V. S.; FILHO, G. M.; FERREIRA JÚNIOR, R. A. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1441-1448, set./out., 2008.

ANDRADE, E.M. de. A irrigação e suas implicações sobre o capital natural em regiões áridas e semi-áridas: uma revisão. **Revista Ceres**. v.56, n.4, p.390-398, 2009.

ANTUNES, W.R.; SCHÖFFEL, E.R.; SILVA, S.D. dos A. e; EICHOLZ, E.; HÄRTER, A. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de clones de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.51, n.2, p.142-148, 2016.

AUGUSTINE, S.M.; NARAYAN, J.A.; SYAMALADEVI, D.P.; APPUNU, C.; CHAKRAVARTHI, M.; RAVICHANDRAN, V.; SUBRAMONIAN, N. Erianthus arundinaceus HSP70 (EaHSP70) overexpression increases drought and salinity tolerance in sugarcane (Saccharum spp. hybrid). **Plant Science**, v.232, p.23-34, 2015.

BATISTA, E. L. da S., **Efeito do estresse hídrico sobre o crescimento de cultivares de cana-de-açúcar**. 2012. 97f. Dissertação (mestrado Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.

BATISTA, E.L.da S.; ZOLNIER, s.; RIBEIRO, A.; LYRA, G.B.; SILVA, T.G.F. da. BOEHRINGER, D. Modelagem do crescimento de cultivares de cana-de-açúcar

no período de formação da cultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.10, p.1080–1087, 2013.

BATISTA, E.L.da S.; ZOLNIER, s.; RIBEIRO, A.; LYRA, G.B.; SILVA, T.G.F. da. BOEHRINGER, D. Avaliação do efeito do estresse hídrico no crescimento de cultivares de cana-de-açúcar usando um sistema automático de fertirrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.35, n.2, p.215-229, 2015.

BLANCO F.F.; FOLEGATTI M.V.; GHEYI H.R.; FERNANDES P.D.; Emergence and Growth of Corn and Soybean Under Saline Stress. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.64, n.5, p.451-459, 2007.

BOEHRINGER, D., **Efeito de reduções contínuas e intermitentes do potencial matricial de água nas trocas gasosas e no crescimento de cultivares de cana-de-açúcar**. 2014. 113f. Tese (doutorado Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2014.

BOEHRINGER, D.; ZOLNIER, S.; RIBEIRO, A.; STEIDLE NETO, A.J. Determinação do fluxo de seiva na cana-de-açúcar pelo método do balanço de energia caulinar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.33, n.2, p.237-248, 2013.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n. 1, 1997.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento (2016). Acompanhamento da safra brasileira: Cana-de-Açúcar. v.2 - safra 2015/2016 – n.4, quarto levantamento. Brasília, Embrapa. p.76.

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

FAGUNDES, E.A.A. Desenvolvimento inicial de variedades de cana-de-açúcar em LATOSSOLO do cerrado mato-grossense submetidas a níveis de compactação do solo. 2012. 75f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis, MT, 2012.

FERREIRA JUNIOR, R.A.; SOUZA, J.L. de; ESCOBEDO, J.F.; TEODORO, I.; LYRA, G.B.; NETO, R.A. de A. Cana-de-açúcar com irrigação por gotejamento em dois espaçamentos entrelinhas de plantio. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.18, n.8, p.798–804, 2014.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.

HICHEM, H.; MOUNIR, D.; NACEUR, E.A. Differential responses of two maize (Zea mays L.) varieties to salt stress: Changes on polyphenols composition of foliage and oxidative damages. **Industrial Crops and Products**, v.30 p.144–151, 2009. doi:10.1016/j.indcrop.2009.03.003

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.; MUCHOW, R.C.; ROBERTSON, M.J. Dry partitioning of sugarcane in Australia and South Africa. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 76, p. 71-84, 2002.

JOHNSON, C.M.; STROUT, R.R., BROYER, T.C.; CARLTON, A.B. Comparative chlorine requirements of different species. **Plant and Soil**. V.8, p.327-353, 1957.

JULKOWSKA, M.M.; TESTERINK, C. Tuning plant signaling and growth to survive salt. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 20, n. 9, p. 586-594, 2015.

LACLAU, P.B.; LACLAU, J.P. Growth of the whole root system for a plant crop of sugarcane under rainfed and irrigated environments in Brazil. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.114, p.351-360, 2009.

MACHADO, R.S., RIBEIRO, R.V., MARCHIORI, P.E.R., MACHADO, D.F.S.P., MACHADO, E.C., LANDELL, M.G.A. Biometric and physiological responses to water deficit in sugarcane at different phenological stages. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.12, p.1575-1582, 2009.

MARAFON, A.C. **Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar**: uma introdução ao procedimento prático. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2012. 29p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Documentos, 168).

MUNNS, R., TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v.59, p.651-681, 2008.

NAZÁRIO A.A.; BESTETE, L. de O.; GARCIA, G. de O.; REIS, F. dos; CECÍLIO R.A. Desenvolvimento e produção do milho irrigado com água de diferentes condutividades elétricas. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v.10, n.2, p.117-130, 2013.

OLIVEIRA, E.C.A.; OLIVEIRA, R.I.; ANDRADE, B. M.T.; FREIRE, F.J.; JÚNIOR, M.A.L.; MACHADO, P.R. Crescimento e acúmulo de matéria seca em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.14, n.9, p.951–960, 2010.

OLIVEIRA, R.A., DAROS, E., ZAMBON, J.L.C., WEBER, H., Ido, O.T., ZUFELLATO-RIBAS, K.C., KOEHLER, H.S., SILVA, D.K.T. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no estado do Paraná: taxas de crescimento. **Scientia Agraria,** v.6 p.85-89, 2005.

PAGARIYA M.C.; DEVARUMATH R.M.; KAWAR P.G. Biochemical characterization and identification of differentially expressed candidate genes in salt stressed sugarcane. **Plant Science**, v.184, p.1-13, 2012.

PATADE, V.Y.; BHARGAVA, S.; SUPRASANNA, P. Salt and drought tolerance of sugarcane under iso-osmotic salt and water stress: growth, osmolytes accumulation, and antioxidant defense. **Journal of Plant Interactions**, v.6, n.4, 2011.

PINCELLI, R.P.; SILVA, M.A. Alterações morfológicas foliares em cultivares de cana-de-açúcar em resposta à deficiência hídrica. **Bioscience Journal,** Uberlância, v.28, n.4, p.546-556, 2012.

PLAUT, Z.; MEINZER, F.C.; FEDERMAN, E. Leaf development, transpiration and ion uptake and distribution in sugarcane cultivars grown under salinity. **Plant and Soil**, v.218, p.59-69, 2000.

RIDESA. Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro. **Catálogo nacional de variedades "RB" de cana-de-açúcar**. Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro, Curitiba, 2010.

SANTANA, M.J. de, CARVALHO, J. de A., SOUZA, K.J. de, SOUSA, A.M.G. de, VASCONCELOS, C.L.; ANDRADE, L.A. de B. Efeitos da salinidade da água de irrigação na brotação e desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar (Saccharum spp) e em solos com diferentes níveis texturais. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, n.5, p.1470-1476, 2007.

SANTOS JÚNIOR, J.A.; GHEYI, H.R.; CAVALCANTE, A.R.; DIAS, N. da S.; MEDEIROS, S. de S. Produção e pós-colheita de flores de girassóis sob estresse salino em hidroponia de baixo custo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.36, n.3, p.420-432. 2016.

SILVA, A.O. da; SILVA, Ê. F. F. E.; KLAR, A. Manejo da fertirrigação e salinidade do solo no crescimento da cultura da beterraba. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.35, n.2, p.230-241, 2015.

SILVA, M.de A.; ARANTES, M. T.; RHEIN, A. F. de L.; GAVA, G. J. C.; KOLLN, O. T. Potencial produtivo da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento em função de variedades e ciclos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.18, n.3, p.241-249, 2014.

SILVA, T. G. F., **Análise de crescimento, interação biosfera-atmosfera e eficiência do uso de água da cana-de-açúcar irrigada no Submédio do Vale do São Francisco.** 2009. 176f. Tese (doutorado Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B.; ZOLNIER, S.; CARMO, J. F. A.; SOUZA, L. S. B. Biometria da parte aérea da cana soca irrigada no Submédio do Vale do São Francisco. **Revista Ciência Agronômica** (Online), v.43, p.500-509, 2012.

SILVA, T.G.F. da.; ZOLNIER, S.; GROSSI, J.A.S.; BARBOSA, J.G.; MOURA, C.R.W.; MUNIZ, M.A. Crescimento do girassol ornamental cultivado em ambiente protegido sob diferentes níveis de condutividade elétrica de fertirrigação. **Revista Ceres**, Viçosa, v.56, n.5, p.602-610, 2009.

SILVEIRA, L.C.I. da.; KIST, V.; PAULA, T.O.M. de.; BARBOSA, M.H.P.; OLIVEIRA, R.A. de.; DAROS, E. Adaptability and phenotypic stability of sugarcane genotypes in the state of Minas Gerais. **Ciência Rural**, v.42, n.4, p.587-593, 2012.

SIMÕES, W.L.; CALGARO, M.; COELHO, D.S.; SANTOS, D.B. dos; SOUZA, M.A. Growth of sugar cane varieties under salinity. **Revista Ceres**, Viçosa, v.63, n.2, p.265-271, 2016.

SINCLAIR, T. R.; GILBERTB, R. A.; PERDOMO, R. E; SHINE JÚNIOR, J. M.; POWELL. G.; MONTES, G. Sugarcane leaf area development under field conditions in Florida, USA. **Field Crops Research**, v.88, p.171-178, 2004.

SMIT, M.A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research, Amsterdam**, v. 98, n. 2-3, p. 91-97, 2006.

SMITH, D.M.; INMAN-BAMBER, N.G.; THORBURN, P.J. Growth and function of the sugarcane root system. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.92, p.169-183, 2005.

SOUSA, G.G. de; LACERDA, C.F. de; SILVA, G.L.; FREITAS, C.A.S. de; CAVALCANTE, L.F.; SOUSA, C.H.C. de. Acumulação de biomassa, teores de extração de micronutrientes em plantas de milho irrigadas com águas salinas. **Agropecuária Técnica**, v.31, n.2, p.1-10, 2010.

STEIDLE NETO, A.J., **Sistema computadorizado para preparo e aplicação de soluções nutritivas com base na estimativa da transpiração do tomateiro cultivado em casa de vegetação**. 2007. 159f. Tese (doutorado Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

STEIDLE NETO, A.J.; ZOLNIER, S.; LOPES, D. de C. Development and evaluation of an automated system for fertigation control in soilless tomato production. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v.103, p.17-25, 2014.

STEIDLE NETO, A.J.; ZOLNIER, S.; MAROUELLI, W.A.; MARTINEZ, H.E.P. Avaliação do desempenho de um sistema automático para controle da fertirrigação do tomateiro cultivado em substrato. **Engenharia Agrícola**, v.29, n.3, p.380-389, 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 5. ed., 2013. 954p.

TRENTIN, R.; ZOLNIER, S.; RIBEIRO, A.; STEIDLE NETO, A.J. Transpiração e temperatura foliar da cana-de-açúcar sob diferentes valores de potencial matricial. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.6, p.1085-1095, 2011.

VIANELLO, R.L., ALVES, A.R. **Meteorologia básica e aplicações**. 2.ed. Viçosa: UFV, 2012. 460p.

WAHID, A. Analysis of toxic and osmotic effects of sodium chloride on leaf growth and economic yield of sugarcane. **Botanical Bulletin of Academia Sinica,** 45: 133-141, 2004.

WALLACH, R. Physical characteristics of soilless media. In: **Soilless culture:** theory and practice. RAVIV, M.; LIETH J.H. (ed). Elsevier, Amsterdam, 2008, p. 41-116.

WILLADINO, L.; FILHO, R.A. de O.; SILVA JUNIOR, E.A. da; GOUVEIA NETO, A.; CAMARA, T.R. Estresse salino em duas variedades de cana-de-açúcar: enzimas do sistema antioxidativo e fluorescência da clorofila. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n.2, p.417-422, 2011.

WILLMOTT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K. M.; LEGATES, D. R.; ODONNELL, J.; ROWE, C. M. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research-Oceans**, Ottawa, v. 90, p. 8995-9005, 1985.

CAPÍTULO II

ALTERAÇÕES NA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR SOB DISTINTOS NÍVEIS DE SALINIDADE APLICADOS NA FERTIRRIGAÇÃO

RESUMO

A cana-de-açúcar cultivada sob condições de salinidade, nas imediações do sistema radicular, está submetida a potenciais osmóticos similares aos observados sob estresse hídrico, reduzindo a absorção de água e, consequentemente, a transpiração. O objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito de distintos níveis de salinidade na evapotranspiração das cultivares de cana-de-açúcar RB867515, RB855453, RB92579 e RB928064, a qual foi monitorada durante o período diurno sob condições meteorológicas influenciadas, principalmente, pela variação da nebulosidade. Os valores de salinidade foram estabelecidos pela adição de 0, 50, 100 e 150 mM L^{-1} de Cloreto de Sódio (NaCl) à solução nutritiva aplicada via fertirrigação, de modo que a Condutividade Elétrica (CE) da solução lixiviada se mantivesse próxima de 3, 6, 10 e 13 dS m^{-1}, respectivamente. O aumento da concentração de NaCl na solução nutritiva afetou, significativamente e de forma linear, a evapotranspiração de todas as cultivares de cana-de-açúcar, sendo que os dias de menor nebulosidade proporcionaram os maiores valores de evapotranspiração e as maiores reduções entre os níveis de salinidade. No dia de maior demanda de água da atmosfera, a redução da evapotranspiração acumulada no período diurno foi de 48,5 g $planta^{-1}CE^{-1}$, que representa o valor médio obtido a partir dos dados de todas as cultivares de cana-de-açúcar avaliadas. Nos horários de maior

demanda de água, apenas a evapotranspiração da cultivar RB867515 não foi afetada significativamente quando o nível de salinidade aumentou de 3 para 6 dS m^{-1}.

Palavras-chave: estresse salino, salinização, Saccharum officinarum, uso eficiente de água.

ALTERATIONS ON THE EVAPOTRANSPIRATION OF SUGARGANE CULTIVARS UNDER DISTINCT SALINITY LEVELS APPLIED IN THE FERTIGATION

ABSTRACT

The sugarcane grown under salinity conditions, near to the root system, is subjected to osmotic potentials similar to those observed under water stress, reducing water absorption and consequently the transpiration. The objective of this research was to evaluate the effect of distinct levels of salinity on the evapotranspiration of the sugarcane cultivars RB867515, RB855453, RB92579 e RB928064, which was monitored during the diurnal period under meteorological conditions characterized mainly by cloud variations. The salinity values were established by adding of 0, 50, 100 e 150 mM L^{-1} of Sodium Chorid (NaCl) to the nutrient solution which was applied by fertigation, in such a way that the electrical conductivity (EC) of the leached solution was maintained near 3, 6, 10 e 13 dS m^{-1}, respectively. The increase of the NaCl concentration in the nutrient solution affected, significantly and in a linear manner, the evapotranspiration of all sugarcane cultivars, such that days with low cloud provided the highest

evapotranspiration values and the greater reduction among salinity levels. Under the highest atmospheric water demand, the reduction in the evapotranspiration accumulated during the diurnal period was 48.5 g planta^{-1}CE^{-1}, which represents the mean value obtained using the data of all evaluated sugarcane cultivars. During hours of higher water demand, only evapotranspiration of the cultivar RB867515 was not significativaly affected when the salinity level increased from 3 to 6 dS m^{-1}.

KEYWORDS: efficient water use, Saccharum officinarum, saline stress, salinization.

1. INTRODUÇÃO

Dados disponibilizados pela Companhia Nacional de Abastecimento mostram que a área cultivada com cana-de-açúcar, referente à safra de 2015/2016, alcançou aproximadamente 8,65 milhões de hectares, indicando uma alteração de 3,9% a menos em área plantada. No entanto, o resultado final foi maior, com uma produção em torno de 665,6 milhões de toneladas, o que corresponde a um aumento de 4,9% quando comparada com os dados de 2014/2015, e somente não foi maior em razão da crise hídrica que atingiu o país, principalmente na região Norte/Nordeste (CONAB, 2016).

A cana-de-açúcar, em consequência do seu metabolismo C4, é uma planta que possui elevadas taxas de produtividade em condições de alta temperatura, radiação solar e disponibilidade hídrica (SILVA et al., 2011; ANTUNES et al., 2016). Porém, algumas regiões de cultivo no Brasil, que possuem condições climáticas caracterizadas por valores elevados de temperatura do ar e de radiação solar, também apresentam baixa precipitação. Este fato associado a condições edáficas particulares, intensifica a salinização dos solos, que é agravada com a utilização de água salobra e/ou fertilizantes solúveis nos eventos de irrigação (WILLADINO et al., 2011). Assim, a salinização dos solos em áreas cultivadas com cana-de-açúcar tem causado preocupações com relação à produtividade e viabilidade econômica para o produtor, em consequência do estresse salino que reduz o uso de água pela cultura.

O estresse salino causa várias alterações morfofisiológicas e bioquímicas nas plantas. Primeiramente, a salinidade afeta o potencial osmótico, com características de ocorrência de um estresse hídrico, reduzindo a absorção

de água e, consequentemente, a transpiração. No entanto, dependendo da intensidade e duração deste processo, pode-se observar toxidez por acúmulo de íons no interior das células (MUNNS & TESTER, 2008). Em estudos com cana-de-açúcar, constatou-se que o estresse salino causa redução da brotação, da matéria seca, tanto da parte aérea como das raízes, da área foliar, da evapotranspiração, além de outras alterações, como o teor de clorofila e de carotenoides (SANTANA et al., 2007; WILLADINO et al., 2011; PATADE et al., 2011; SIMÕES et al., 2016).

Valores elevados de temperatura, velocidade do ar e radiação solar, além de baixos valores de umidade relativa do ar, são elementos favoráveis a uma maior evapotranspiração (PEREIRA et al., 2013), sendo que os efeitos da salinidade são intensificados nestas condições (MUNNS & TESTER, 2008). Neste contexto, estudos que relacionam as variáveis meteorológicas com a salinidade durante o cultivo da cana-de-açúcar são escassos na literatura. Além disso, o conhecimento do nível de salinidade, que não afeta significativamente a produtividade agrícola, e de cultivares mais tolerantes fornece informações imprescindíveis para o plantio em regiões onde o solo ou a água de irrigação apresentam certo grau de salinidade. Além disso, o conhecimento adquirido pode gerar informações para o melhoramento genético (PAGARIYA et al., 2012; AUGUSTINE et al., 2015; ANTUNES et al., 2016).

Em decorrência do amplo volume de solo explorado pelo sistema radicular da cana-de-açúcar, podendo alcançar mais de quatro metros de profundidade (LACLAU & LACLAU, 2009), há uma grande variação espacial das propriedades físicas e químicas do solo e da movimentação da água no seu interior (BATISTA et al., 2015), dificultando o controle de uniformidade de

aplicação de tratamentos em estudos sobre salinidade em condições de campo. Neste sentido, muitos trabalhos descritos na literatura foram realizados com o plantio em vasos e, geralmente, com a aplicação de diferentes concentrações de sais, como o cloreto de sódio (NaCl) na água de irrigação, com o objetivo de quantificar a influência da salinidade no crescimento e desenvolvimento, tanto da cana-de-açúcar (PLAUT et al. 2000; PATADE et al., 2011; AUGUSTINE et al., 2015; SIMÕES et al., 2016), como em outras culturas (LIMA et al., 2014; SILVA et al., 2015).

Esta pesquisa teve por objetivo avaliar o efeito da salinidade no comportamento da evapotranspiração de quatro cultivares de cana-de-açúcar sob condições meteorológicas distintas, caraterizadas principalmente por alterações da nebulosidade, representativas de dias típicos com valores elevados e amenos de radiação solar, temperatura do ar e déficit de pressão de saturação de vapor d'água no ar.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local e técnicas de cultivo da cana-de-açúcar

O experimento foi implementado em uma casa-de-vegetação não climatizada, situada na latitude de 20°45'45" S, longitude de 42º52'04" O e altitude de 690 m, pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa -MG.

Os resultados obtidos foram provenientes da utilização do delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 4, com três repetições. O primeiro fator foi constituído por quatro cultivares de cana-de-açúcar (RB867515,

RB855453, RB92579 e RB928064), e o segundo, por diferentes níveis de salinidade, que foram estabelecidos pela adição de 0, 50, 100 e 150 mM L^{-1} de Cloreto de Sódio (NaCl) à solução de fertirrigação, de modo que a Condutividade Elétrica (CE) da solução lixiviada se mantivesse próxima de 3, 6, 10 e 13 dS m^{-1}, respectivamente.

No dia 13/12/2014, três segmentos do colmo, contendo uma gema cada, foram plantados em vasos plásticos com volume total de 15 litros, sendo preenchidos com 13 L de substrato comercial (Bioplant, Nova Ponte, MG) à base de casca de pinus e arroz, esterco, serragem, fibra de coco, vermiculita, cinza, gesso agrícola e complementos minerais (NPK e micronutrientes). A escolha por uso de substrato em vez de solo, foi devido à sua característica de produto estável e inerte (informado pelo fabricante), proporcionando homogeneidade quanto a aplicação dos tratamentos.

No fundo dos vasos, foi perfurado um orifício com 2,3 cm de diâmetro para possibilitar a drenagem do excesso de solução nutritiva proveniente da fertirrigação. Complementarmente, para evitar perda do substrato, foi colocada uma tela plástica acima do orifício de drenagem, a qual tinha malha de 1 mm e diâmetro de 16 cm. Em seguida, entre a tela e o substrato, foram depositados 500 ml de carvão vegetal para facilitar a drenagem lateral na parte inferior do vaso de cultivo.

Aos 30 dias após o plantio (DAP), realizou-se o desbaste na área experimental, mantendo-se apenas uma planta por vaso, a partir da eliminação daquelas que não apresentavam características morfológicas semelhantes. Aos 70 DAP, iniciou-se a aplicação dos tratamentos, constituídos por distintos níveis de salinidade para as quatro cultivares, sendo que, no entanto, a quantidade total

de NaCl foi fracionada nos primeiros eventos de fertirrigação. Durante o período de crescimento, os perfilhos da cana-de-açúcar foram removidos periodicamente, para deixar apenas um colmo em cada vaso, e as plantas foram tutoradas individualmente, para evitar o tombamento em dias com ventos fortes ou pelo próprio peso. No total, 192 plantas foram cultivadas durante o período experimental, compreendendo 48 plantas de cada cultivar.

2.2. Aplicação dos níveis de salinidade e coleta da solução lixiviada

Durante o período experimental, foram realizadas fertirrigações com uma solução nutritiva preparada manualmente, a partir da adição na água de volumes idênticos de duas soluções estoque A e B, sendo estas 50 vezes concentradas (Tabela 1). A solução resultante diluída foi armazenada em quatro recipientes R1, R2, R3 e R4, com capacidade individual de 100 L (Figura 1A). Todos os recipientes foram preenchidos periodicamente com a mesma solução nutritiva, cuja CE tinha valor próximo de 3 dS m^{-1}. Porém, nos recipientes R2, R3 e R4 foram adicionadas as respectivas quantidades de 2,9, 5,8 e 8,7 g L^{-1} de NaCl, obtendo-se os valores finais de CE de 6, 10 e 13 dS m^{-1}, respectivamente.

A adoção do valor de 3 dS m^{-1} para solução nutritiva utilizada no cultivo da cana-de-açúcar baseou-se nos trabalhos de TRENTIN et al. (2011), BOEHRINGER et al. (2013) e BATISTA et al. (2015), e as quantidades de NaCl em estudos conduzidos com o objetivo de avaliar o efeito da salinidade no crescimento da cana-de-açúcar (PLAUT et al., 2000; PATADE et al., 2011; WILLADINO et al., 2011; SIMÕES et al., 2016). O monitoramento da CE foi realizado manualmente com um condutivímetro portátil (modelo CDH-42, Omega, Stamford, CT, USA) (Figura 1B).

Tabela 1. Composição das soluções estoque A e B 50 vezes concentradas, com os respectivos fertilizantes, quantidades dissolvidas em 100 L de água, e concentração dos nutrientes. Esta solução foi modificada, tendo como referência a solução nutritiva de Johnson (JOHNSON et al., 1957).

Preparo da Solução estoque 50 vezes concentrada			Solução nutritiva*		
Solução	Sais/Fertilizantes	Concentração g $100L^{-1}$	Nutriente	Concentração mg L^{-1}	mM L^{-1}
A	Nitrato de Potássio	500	NH^{4+}	21	1,53
	Nitrato de Cálcio Hydro	5500	NO^{3-}	129	9,24
			K^{+}	344	8,80
B	Fosfato Monoamônio Purificado	900	Ca^{+2}	168	4,19
	Sulfato de Magnésio	2000	Mg^{+2}	40	1,63
	Cloreto de Potássio	3000	PO_4^{-3}	47	1,53
	Sulfato de Cobre	1,0	SO_4^{-2}	52	1,62
	Sulfato de Zinco	3,5	Cu^{+2}	0,05	0,001
	Sulfato de Manganês	10,0	Zn^{+2}	0,16	0,002
	Ácido Bórico	10,0	Mn^{+2}	0,48	0,009
	Molibdato de Sódio	1,0	BO_3^{-3}	0,34	0,032
	Ferrilene	300	Mo^{+2}	0,11	0,001
			Fe^{+2}	3,61	0,065

*- Valores referentes a diluição de 0,03 L de ambas soluções A e B para um litro de água. Nesta diluição, a condutividade elétrica da solução é de aproximadamente 3 dS m^{-1}.

Os distintos níveis de salinidade, implementados na solução nutritiva, foram aplicados por meio de microtubos flexíveis que derivavam de tubulações de PVC. Nesse sistema, a frequência e duração dos eventos de fertirrigação foram estabelecidas por um microcontrolador (modelo Duemilanove, Arduino, Itália), associado a uma placa de relés, sendo responsável pelo acionamento de quatro microbombas conectadas aos recipientes R1, R2, R3 e R4. Os eventos de fertirrigação ocorriam sempre às 18 horas, para que não houvesse, no dia seguinte, influência da drenagem no momento da pesagem dos vasos onde as plantas de cana-de-açúcar foram cultivadas. No decorrer do período de realização do experimento, a quantidade aplicada variou conforme o crescimento da cultura e as variações meteorológicas do ambiente de cultivo. Dessa maneira, o volume de solução nutritiva aplicado sempre foi superior à evapotranspiração, proporcionando uma fração lixiviada com valores de CE próximos dos preconizados nos tratamentos.

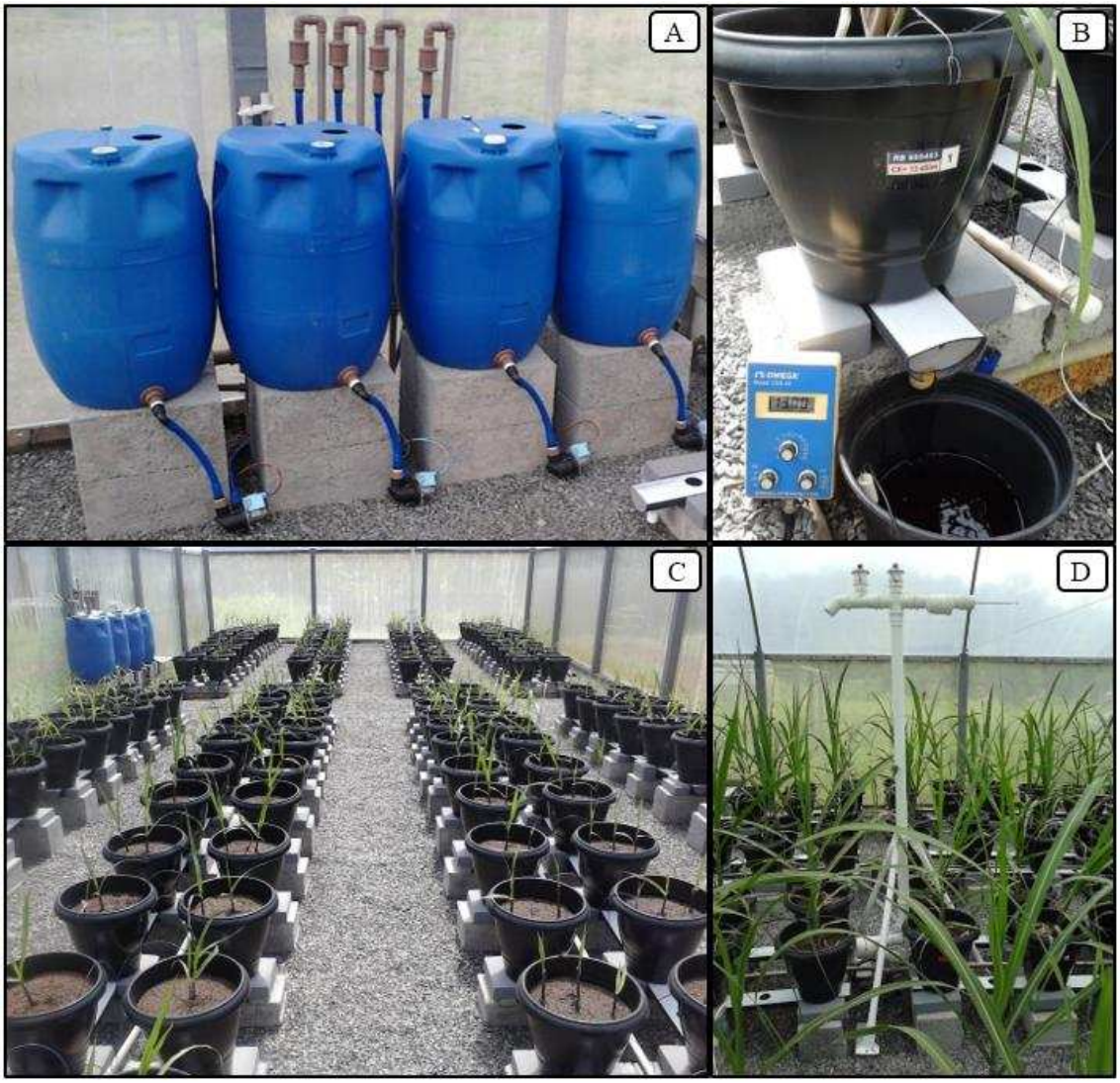

Figura 1. Cultivo da cana-de-açúcar sob condições de casa-de-vegetação (DEA/UFV, Viçosa-MG). Reservatórios e microbombas para aplicação dos quatro tratamentos (A); medição da CE da solução lixiviada (B); vista geral do experimento aos 15 DAP (C); e estrutura para instalação dos sensores meteorológicos no ambiente de cultivo (D).

Perfis hidropônicos de polipropileno (Hidrogood, Taboão da Serra, SP) foram instalados sob os vasos para a coleta da solução nutritiva drenada em cada fileira de cultivo, sendo dispostos com inclinação de 4%. Na extremidade inferior do perfil, foi perfurado um orifício para colocação de um adaptador de PVC, o qual foi conectado a uma mangueira removível que, por sua vez, foi conectada ao sistema de drenagem, para descarte do excedente após a realização dos

eventos de fertirrigação. Periodicamente, a mangueira removível era desconectada do sistema de drenagem e a solução nutritiva lixiviada era coletada em um vaso de 4 L para medição da CE e controle dos níveis de salinidade (Figura 1B). Cada perfil, que apresentava 2,6 m de comprimento, coletava a drenagem proveniente de seis vasos de cultivo. No total, foram instalados 32 perfis para a coleta de drenagem das 192 plantas cultivadas na casa-de-vegetação.

2.3. Monitoramento das variáveis meteorológicas e da evapotranspiração

As medições das variáveis meteorológicas no ambiente de cultivo foram realizadas por quatro sensores eletrônicos instalados em uma estrutura construída a partir de tubos e conexões de PVC com 50 mm de diâmetro e coloração branca (Figura 1D), como utilizado por BATISTA el al. (2015). No interior da parte superior da estrutura, foi instalado um sensor conjugado de temperatura e umidade relativa do ar (modelo HMP60, Vaisala, Woburn-MA, USA). Dessa forma, os elementos sensíveis desse sensor ficaram protegidos da incidência direta dos raios solares e sob uma taxa de ventilação de 5 m s^{-1}. Nesse sistema, o ar era continuamente aspirado por meio de um ventilador axial instalado na parte inferior da estrutura de PVC. Em contraste, na parte superior da estrutura, foram instalados sensores para medição da radiação solar global (Piranômetro, modelo LI-200SA, Li-Cor, Lincoln-NE, USA) e radiação fotossinteticamente ativa (Quantum, modelo LI-190SA, Li-Cor, Lincoln-NE, USA). Por último, no lado oposto ao sensor conjugado de temperatura e umidade relativa do ar, foi instalado um anemômetro de fio quente (modelo FMA-903-I, Omega, Stamford-CT, USA) para medição da velocidade do ar.

O gerenciamento do processo de aquisição e armazenamento dos dados provenientes dos sensores eletrônicos foi realizado por meio de um programa desenvolvido em linguagem “C++” (software Builder versão 6.0, Borland™). Este programa foi instalado em um microcomputador que se comunicava com módulos analógicos de aquisição de dados (modelo LR-7018, LR Informática Industrial, Porto Alegre-RS), onde foram conectados os sensores responsáveis pelas medições das variáveis meteorológicas no ambiente de cultivo. As leituras dos dados ocorriam em intervalos de cinco segundos, sendo armazenados os valores médios de 12 leituras em cada minuto.

A evapotranspiração da cultura foi medida com uma balança eletrônica (Tecnal, Piracicaba, SP), que apresentava capacidade individual para 12 kg e precisão de 0,1 g. A variação de massa do sistema individual de cultivo, constituído de um vaso plástico, substrato, água e uma planta de cana-de-açúcar, foi obtida ao longo do período diurno. Os resultados foram integrados para períodos horários entre 8 e 17 horas. Para a avaliação da salinidade na evapotranspiração foram escolhidas, ao acaso, 12 plantas de cada cultivar, sendo três plantas para cada nível de salinidade, no total de 48 plantas analisadas por campanha.

A área foliar das plantas foi estimada a partir de um modelo sigmoidal com três parâmetros, com base em medições da largura, do comprimento e do fator de forma das folhas, sendo o último determinado a partir de medições destrutivas ao final do experimento. Os dados necessários para aplicação do modelo foram obtidos em sete campanhas de biometria ao longo do período de cultivo da cana-de-açúcar, permitindo acompanhar a variação da área foliar nos dias de medição da evapotranspiração.

2.4. Análise estatística

Para avaliar o efeito da salinidade na evapotranspiração, foram conduzidas quatro campanhas de medições, aos 97, 105, 118 e 132 DAP. Como os dados das variáveis meteorológicas do ambiente de cultivo foram diferentes nesses dias, as análises foram realizadas separadamente, sendo apresentada a variação horária da taxa de evapotranspiração entre 8 e 17 horas. No entanto, a análise de variância (ANOVA) foi efetuada para a evapotranspiração acumulada no período diurno e entre 11 e 14 horas, sendo, posteriormente, aplicado o teste de Tukey para os resultados significativos. As análises estatísticas foram realizadas a partir da utilização do programa ASSISTAT.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Variáveis meteorológicas

Na Figura 2 é apresentado o comportamento diurno da temperatura do ar (T_{ar}), do déficit da pressão de saturação de vapor d'água no ar (DPV_{ar}) e da radiação global (Rg), cujos dados meteorológicos foram obtidos no ambiente de cultivo, durante campanhas de medições realizadas aos 97, 105, 118 e 132 dias após o plantio (DAP). Os valores diurnos médios de T_{ar}, DPV_{ar} e Rg foram respectivamente 27,1 ºC; 15,9 hPa e 313 W m^{-2}, para 97 DAP; 28,2 ºC, 16,4 hPa e 325 W m^{-2}, para 105 DAP; 21,8 ºC, 7,3 hPa e 162 W m^{-2}, para 118 DAP; e 24 ºC, 7,8 hPa e 130 W m^{-2}, para 132 DAP. Os valores integrais da Rg foram

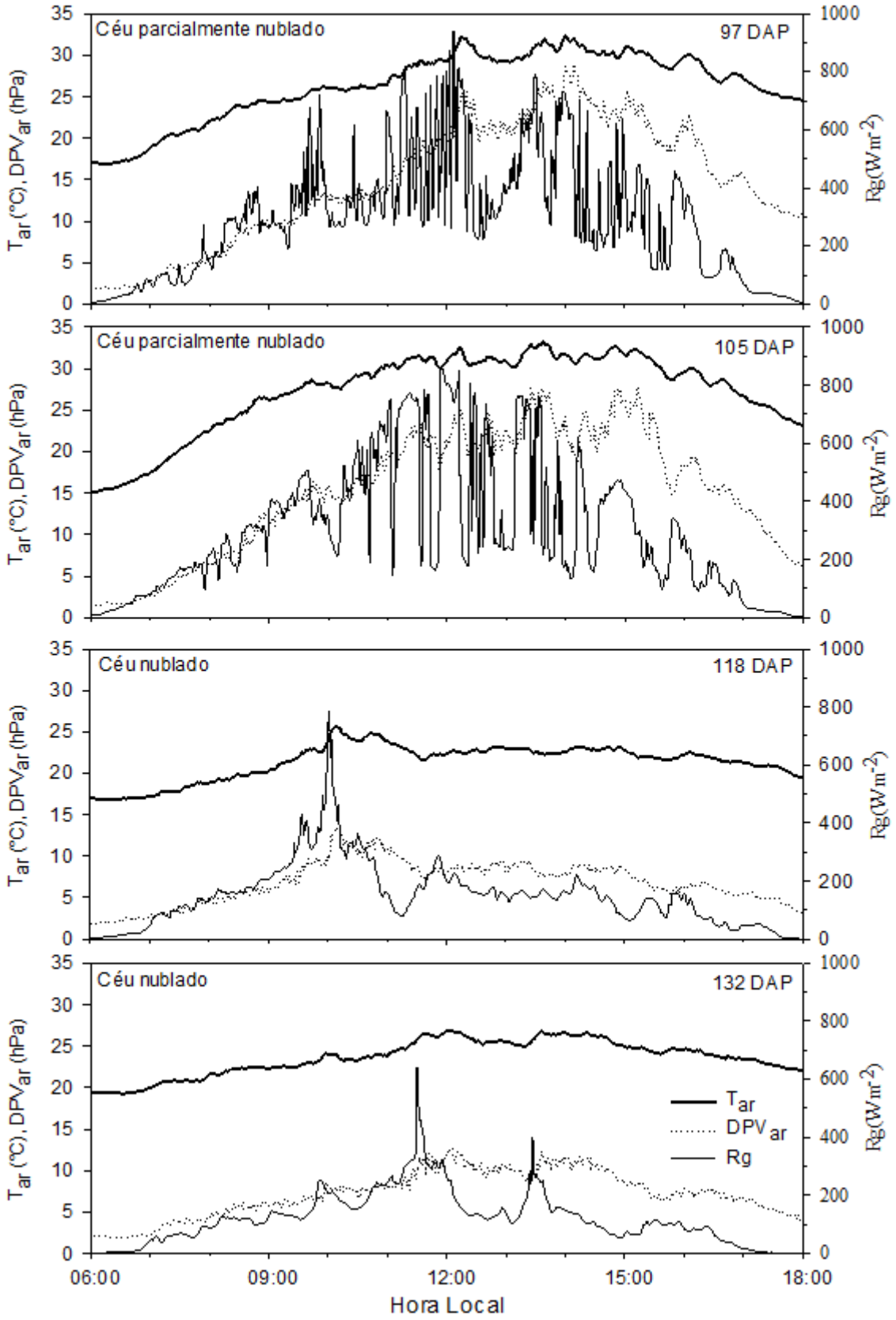

Figura 2. Variação da temperatura do ar (T_{ar}), déficit da pressão de saturação de vapor d'água no ar (DPV_{ar}) e radiação solar global (Rg) entre 6 e 18 horas, para os 97, 105, 118 e 132 dias após o plantio.

de 12,5, 11, 6,5 e 5,2 MJ m^{-2} d^{-1}, respectivamente para 97, 105, 118 e 132 DAP. Nessas campanhas de medições, as condições meteorológicas foram similares aos 97 e 105 DAP, sendo típicas de dias caracterizadas por pouca nebulosidade. Em contraste, condições similares estabelecidas por alta nebulosidade foram constatadas aos 118 e 132 DAP.

Quando as variáveis mencionadas possuem valores elevados, como observado aos 97 e 105 DAP, são estabelecidas condições favoráveis para intensificação da evapotranspiração da cultura (SILVA et al., 2011; TRENTIN et al. 2011). No caso específico desses dias, os valores de T_{ar}, DPV_{ar} e Rg foram geralmente maiores no período compreendido entre 11 e 14 horas.

3.2. Efeito da salinidade na evapotranspiração diurna

A análise estatística para o total evapotranspirado no período diurno (ETcd) mostrou que não houve diferenças significativas entre as cultivares de cana-de-açúcar RB867515, RB855453, RB92579 e RB928064, e que a equação de regressão que melhor se ajustou aos dados da ETcd em função da salinidade foi a linear, sendo este fato constatado nas quatro campanhas de medição (Figura 3). Verifica-se que a salinidade causou decréscimo da ETcd para as quatro cultivares de cana-de-açúcar, independente das condições meteorológicas. Com base no coeficiente angular da reta de regressão e considerando-se as quatro cultivares, os valores médios de redução da evapotranspiração diurna, para cada incremento da condutividade elétrica da solução nutritiva aplicada via fertirrigação, foram de 34,9, 48,5, 21,3 e 19,8 g $planta^{-1}CE^{-1}$, respectivamente aos 97, 105, 118 e 132 dias após o plantio (DAP).

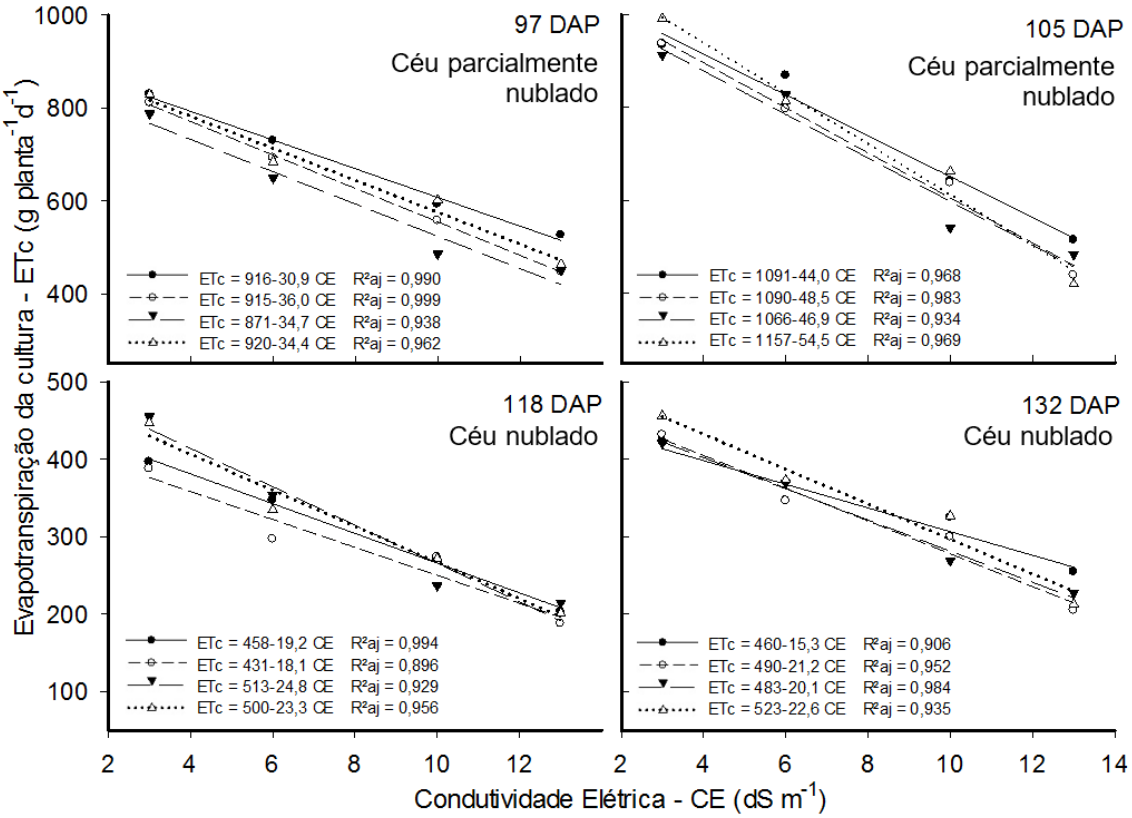

Figura 3. Evapotranspiração acumulada no período diurno para as cultivares de cana-de-açúcar RB867515 (—•—), RB855453 (– –○– –), RB928064 (—▼—) e RB92579 (···△···), submetidas a diferentes níveis de salinidade. As medições foram realizadas aos 97 (A), 105 (B), 118 (C) e 132 (D) dias após o plantio em condições meteorológicas parcialmente e completamente nubladas ($p<0,05$).

Com base nas equações de regressão, observa-se uma redução média da ETcd de aproximadamente 24% considerando-se a alteração da CE de 3 para 8 dS m^{-1}, tomando-se como referência o valor médio de ETcd obtido nas quatro campanhas de medição. Esse resultado é similar ao encontrado por SANTANA et al. (2007), os quais avaliaram o efeito da salinidade na brotação e desenvolvimento inicial da cultivar de cana-de-açúcar SP80-1842, cujo período de avaliação foi restringido até 38 DAP e o plantio realizado em três solos de diferentes texturas. Os autores verificaram que a água de irrigação com CE de 8

dS m^{-1} causou a maior redução diária na evapotranspiração em cerca de 20 % para o solo de textura arenosa.

Por meio da adição dos sais NaCl e $CaCl_2$ na água de irrigação, PLAUT et al. (2000) investigaram o efeito da aplicação de cinco valores de CE (1, 2, 4, 8 e 12 dS m^{-1}) na transpiração das cultivares H65-7052 (menos tolerante) e H69-8235 (mais tolerante), abrangendo o período compreendido entre 60 e 128 DAP. Os autores mediram a transpiração diária individual das plantas nos últimos 10 dias do experimento e verificaram valores na ordem de 1150 (H69-8235) e de 850 g d^{-1} $planta^{-1}$ (H65-7052), que estão próximos dos obtidos no presente estudo para o tratamento com 3 dS m^{-1}.

Similarmente, PLAUT et al. (2000) também constataram uma tendência linear para o decréscimo da transpiração com o aumento da CE. Além disso, foi observada uma redução na transpiração do primeiro para o último nível de CE em cerca de 65 e 82%, respectivamente para as cultivares H69-8235 e H65-7052. Essas reduções mais elevadas podem ser atribuídas aos valores típicos de temperatura do ar observados pelos autores na casa-de-vegetação, que foram de 23 e 35 ℃, respectivamente para os pe ríodos noturnos e diurnos.

Considerando que a salinidade afeta principalmente o potencial osmótico (MUNNS & TESTER, 2008), de tal modo que dificulta a absorção de água pelas raízes, os resultados aqui apresentados podem, de certa forma, ser comparados aos de estresse hídrico disponíveis na literatura. Além disso, são escassas as pesquisas realizadas com o objetivo de avaliar o efeito da salinidade sobre a evapotranspiração da cana-de-açúcar.

TRENTIN et al. (2011) avaliaram o efeito do estresse hídrico na cultivar RB867515 aos 125 DAP, verificando reduções na transpiração das plantas, em relação ao tratamento sem estresse, de 28,1 e 63,3 % para os potenciais matriciais em torno de -474 e de -1272 kPa, respectivamente. O valor de 28,1 % é bem próximo da redução média de 29 % na ETcd, constatada para as quatro cultivares no presente experimento, correspondente ao aumento da salinidade de 3 para 9 dS m^{-1}, sendo o último valor estimado por meio das equações apresentadas na Figura 3.

Analisando-se os dias com menor nebulosidade, verifica-se que o maior valor de ETcd foi medido aos 105 DAP (Figura 3B) para a CE de 3 dS m^{-1}, sendo cerca de 14% maior em relação ao obtido aos 97 DAP (Figura 3A). Como as condições meteorológicas no ambiente de cultivo foram semelhantes, nestes dias, essa diferença pode ser atribuída ao aumento da área foliar entre as campanhas de medição, que foram 0,59 e 0,67 m^2 aos 97 e 105 DAP, respectivamente. Deve-se observar que a maior parte da transpiração da cana-de-açúcar ocorre nas folhas, onde estão os estômatos que são responsáveis pelo controle da perda de água para a atmosfera. Este controle torna-se evidente quando são observados os valores médios da ETcd para a CE de 13 dS m^{-1}, os quais foram respectivamente 471,9 e 463,6 g $planta^{-1}$ aos 97 e 105 DAP, indicando maior estresse hídrico sob esse nível de salinidade.

No que se refere aos dias de maior nebulosidade, nota-se que a ETcd foi em média cerca de 3 % maior para 132 DAP (Figura 3D) em relação aos 118 DAP (Figura 3C), considerando-se apenas a CE de 3 dS m^{-1}. Entretanto, essa mesma relação foi de aproximadamente 10 % maior para a CE de 13 dS m^{-1}. A alteração da ETcd para ambos os níveis de CE, além de estar relacionada com o incremento

da área foliar, também pode ser atribuída às diferenças da T_{ar} e do DPV_{ar} que foram ligeiramente maiores no intervalo compreendido entre 12 e 16 horas (Figura 2, aos 132 DAP).

3.3. Efeito da salinidade na taxa de evapotranspiração horária

Embora as cultivares não tenham revelado diferenças significativas para os valores de evapotranspiração acumulados no período diurno (Figura 3), foram constatados comportamentos diferenciados nos valores horários da taxa de evapotranspiração ao longo do período diurno, que serão apresentados apenas para as medições realizadas aos 105 e 118 dias após o plantio (DAP).

As Figuras 4 e 5 ilustram as alterações nos valores horários da taxa de evapotranspiração (ETch) para as cultivares de cana-de-açúcar RB867515, RB855453, RB92579 e RB928064, respectivamente para condições meteorológicas representativas de dias parcialmente nublados (105 DAP) e com nebulosidade plena (118 DAP), exceto um breve pico de radiação às 10:00 horas. As medições foram conduzidas continuamente no período compreendido entre 8 e 17 horas. Como pode ser constatado, a partir dos dados meteorológicos do ambiente de cultivo (Figura 2), as alterações da nebulosidade tiveram efeito marcante nos níveis de radiação solar global, temperatura do ar e déficit de pressão de saturação de vapor d'água no ar ao longo do período diurno quando as medições de evapotranspiração foram realizadas. Assim, a evapotranspiração acompanhou a demanda de água da atmosfera, apresentando comportamento distinto nesses dois dias, sendo que, aos 105 DAP, os valores máximos foram verificados próximos ao meio-dia enquanto que a ETch diminuiu continuamente a partir do período da manhã aos 118 DAP. Este fato foi decorrente da aproximação de nuvens com maior

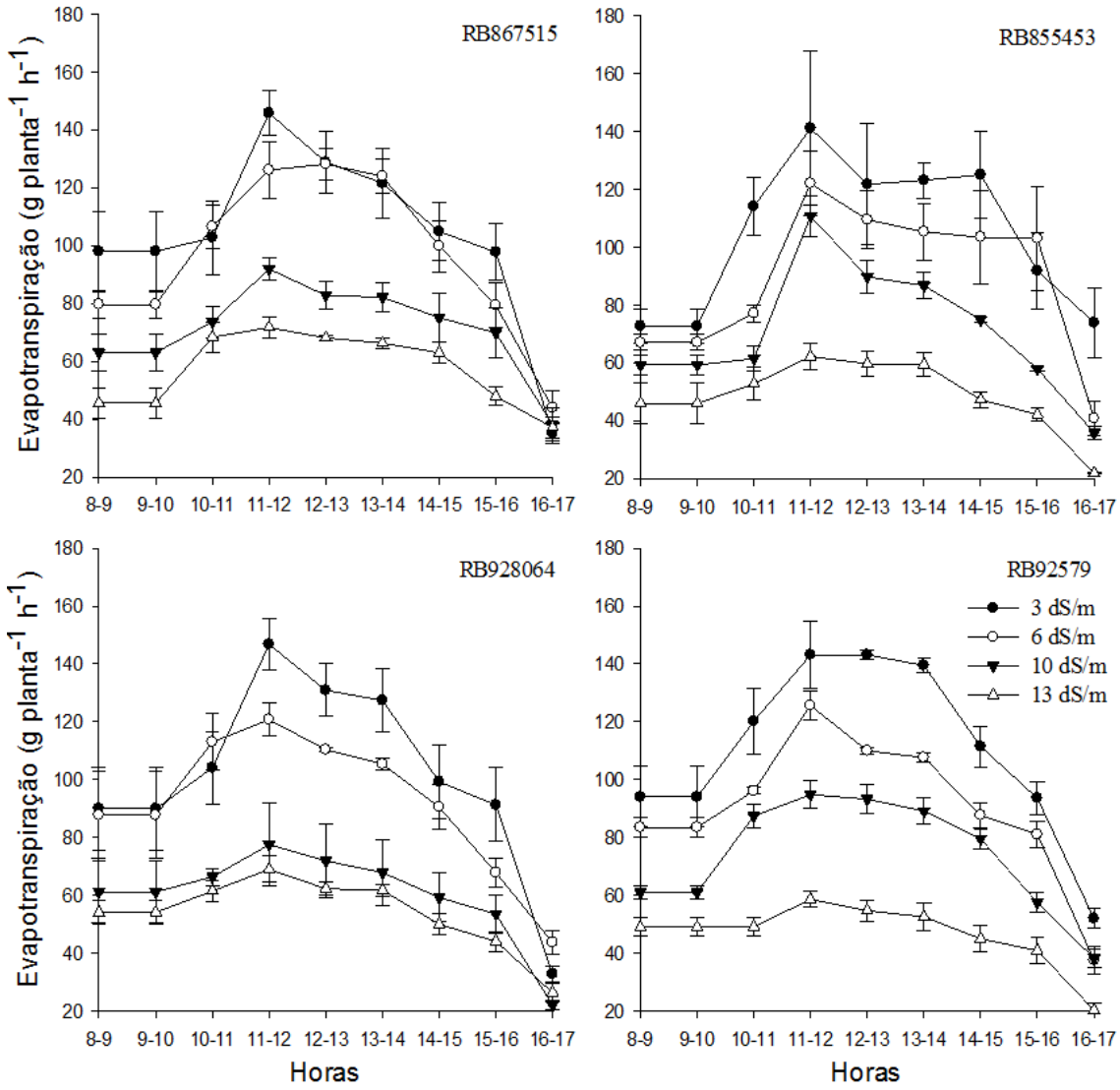

Figura 4. Variação da evapotranspiração das cultivares de cana-de-açúcar RB867515, RB855453, RB928064 e RB92579 aos 105 DAP, as quais foram submetidas a quatro níveis de salinidade.

densidade que obstruíram a incidência de radiação solar nas plantas. A partir do meio-dia aos 118 DAP, os valores de Rg, t_{ar} e DPV_{ar} foram inferiores a 200 W m^{-2}, 23 ºC e 8 hPa, respectivamente.

Primeiramente, na Figura 4, verifica-se que, independente da cultivar, as maiores amplitudes diurnas de ETch são observadas para a CE de 3 dS m^{-1}, sendo que evapotranspiração acompanhou da demanda de água da atmosfera. Segundo PEREIRA et al. (2013), a radiação solar é a principal responsável pelo

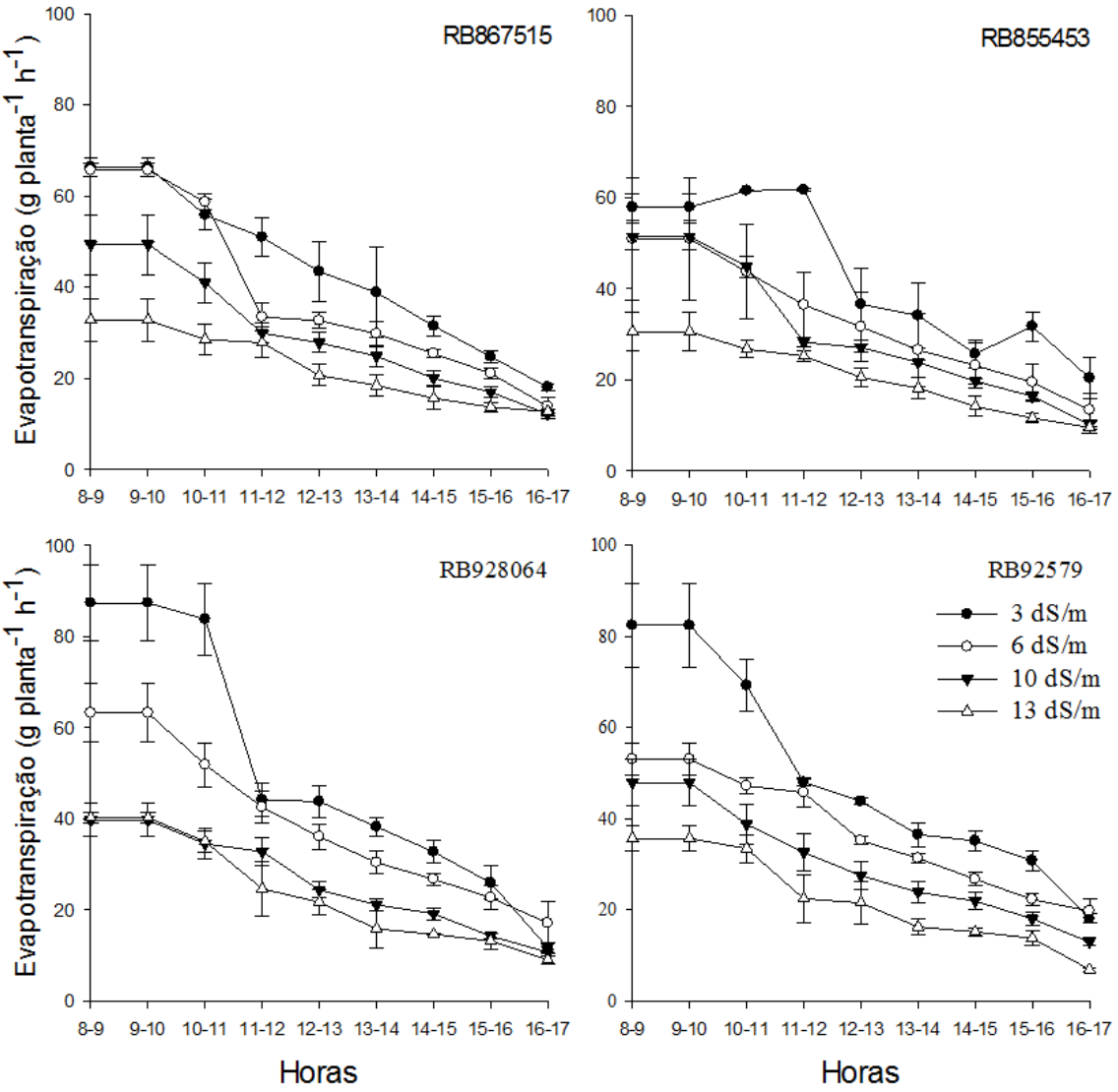

Figura 5. Variação da evapotranspiração das cultivares de cana-de-açúcar RB867515, RB855453, RB928064 e RB92579 aos 118 DAP, as quais foram submetidas a quatro níveis de salinidade.

aumento da evapotranspiração. Em contraste, apesar da alteração dos elementos meteorológicos ao longo do período diurno, valores mais estáveis de ETch foram constatados para a CE de 13 dS m^{-1}, o que sugere a atuação intensa do controle estomático pelas plantas em razão da diminuição da absorção de água com o aumento da salinidade.

Esse comportamento é um indicativo que o nível de salinidade afetou a capacidade destas cultivares em absorver água em resposta à demanda

atmosférica. Os resultados encontrados por TRENTIN et al. (2011) também mostraram que as maiores taxas de evapotranspiração ocorreram quando a cultivar RB867515 não esteve sob estresse hídrico, e que a radiação solar incidente foi a principal variável do ambiente responsável pela alteração nos valores de ETch, sendo essa resposta mais evidente nas plantas sem estresse.

Em geral, para todas as cultivares e níveis de salinidade, observa-se o valor máximo de evapotranspiração no período compreendido entre 11 e 14 horas, quando a radiação solar global está próxima dos 800 W m^{-2}. A cultivar RB867515 mostrou semelhança nos valores de ETch para os tratamentos correspondentes a 3 e 6 dS m^{-1}, o que pode ser uma alteração do metabolismo para tolerar a salinidade. A cultivar RB928064 também apresentou uma aproximação dos valores de ETch para 3 e 6 dS m^{-1}, assim como para valores de ETch referentes aos tratamentos com 10 e 13 dS m^{-1}.

WILLADINO et al. (2011), ao avaliarem as cultivares RB867515 e RB863129 após 30 dias de aplicação de oito níveis de NaCl, verificaram que a RB867515 teve a maior redução no teor de clorofila com o aumento da concentração de NaCl. Além disso, foi constatada a intensificação da ação de enzimas do sistema antioxidativo, para os níveis de 50 a 100 mM de NaCl. Estes autores citam que a redução do teor de clorofila e incremento de enzimas antioxidativas são consideradas como mecanismos capazes de tolerar estresses, como o produzido pelo NaCl. Nesse trabalho, também foram observadas, para a RB867515 ao nível de 50 mM de NaCl, variações das taxas de evapotranspiração próximas das encontradas para a condição que não teve adição de NaCl.

Na Figura 5, é notável como a taxa de evapotranspiração teve sua maior variação de acordo com o pico da radiação solar global (800 W m^{-2} próximo das 10 horas). As cultivares RB928064 e RB92579 apresentaram as maiores taxas no início do período diurno para a CE de 3 dS m^{-1}, porém, a partir do período compreendido entre 11 e 12 horas, os valores de ETch foram menores e próximos dos obtidos sob os demais tratamentos, sendo que a RB928064 teve, novamente, valores de ETch bem próximos dos encontrados nas CE de 10 e 13 dS m^{-1}.

Os resultados indicam que, sob condições meteorológicas influenciadas pela alta nebulosidade, as taxas de evapotranspiração são bem semelhantes entre os distintos níveis de salinidade, o que dificulta a identificação desse efeito sobre as cultivares avaliadas. Portanto, mensurações do efeito do estresse salino no uso de água deveriam ser evitadas em dias nublados, pois há uma aproximação das linhas de evapotranspiração correspondentes aos distintos níveis de salinidade.

3.4. Efeito da salinidade na evapotranspiração no período de maior demanda de água da atmosfera

Quando os valores de ETch são acumulados somente para os horários em que ocorre a maior demanda de água da atmosfera, é possível identificar as diferenças do efeito dos níveis de salinidade na evapotranspiração das quatro cultivares de cana-de-açúcar. A Tabela 2 mostra os resultados da interação entre os fatores cultivar e nível de salinidade na evapotranspiração ocorrida no período compreendido entre 11:00 e 14:00 horas, sob condições de pouca nebulosidade.

Tabela 2. Interação entre cultivares de cana-de-açúcar e níveis de salinidade para a evapotranspiração acumulada no período compreendido entre 11:00 e 14:00 horas. Os níveis de salinidade foram determinados pela condutividade elétrica da solução nutritiva lixiviada após eventos de fertirrigação.

Cultivar	Condutividade Elétrica (dS m^{-1})				Média
	3	6	10	13	
RB867515	396,4 a A	378,4 a A	257,1 a b B	206,3 a B	309,5
RB855453	386,2 a A	337,1 a A B	287,4 a B	181,6 a C	298,1
RB928064	405,1 a A	336,6 a B	217,4 b C	193,0 a C	288,0
RB92579	425,7 a A	343,3 a B	277,3 a C	165,9 a D	303,0
Média	403,4	348,8	259,8	186,7	299,7

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna ou letras maiúsculas na linha diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p<0,01$).

Verifica-se que a evapotranspiração da cultivar RB867515 não foi afetada significativamente quando o nível de salinidade aumentou de 3 para 6 dS m^{-1}. Em contraste, a evapotranspiração das cultivares RB855453, RB92579 e RB928064 teve redução significativa com esta alteração de salinidade. Esse resultado indica que, do ponto de vista do uso de água e para níveis de CE relativamente baixos, a cultivar RB867515 é menos sensível ao estresse salino que as demais cultivares de cana-de-açúcar. Entretanto, para níveis de salinidade de 10 e 13 dS m^{-1}, a evapotranspiração acumulada no período de maior demanda de água foi estatisticamente diferente da observada para a CE de 3 dS m^{-1}, independente da cultivar avaliada.

Dessa forma, fica evidente o efeito mais pronunciado da salinidade em dias caracterizados pela maior demanda de água da atmosfera (Figura 4) em comparação com os de maior nebulosidade (Figura 5). Uma vez que o aumento da concentração de sais solúveis nas proximidades do sistema radicular diminui o potencial osmótico da solução do substrato, este fato irá dificultar o fluxo de água no sentido solo-planta-atmosfera (MUNNS & TESTER, 2008). Assim, dias

caracterizados por pouca nebulosidade favorecem o processo de evapotranspiração e, consequentemente, as plantas mais sensíveis ao efeito da salinidade não conseguem absorver água na mesma proporção para repor o volume transpirado.

4. CONCLUSÕES

A concentração de NaCl na solução de fertirrigação afetou, significativamente e de forma linear, a evapotranspiração acumulada no período diurno de todas as cultivares de cana-de-açúcar, sendo que os dias de menor nebulosidade proporcionaram os maiores valores de evapotranspiração e as maiores reduções entre os níveis de salinidade.

No dia de maior demanda de água da atmosfera, a redução da evapotranspiração, para cada incremento da condutividade elétrica da solução nutritiva aplicada via fertirrigação, foi de 48,5 g planta^{-1}CE^{-1}, sendo este o valor médio representativo das cultivares de cana-de-açúcar RB867515, RB855453, RB92579 e RB928064, com base no coeficiente angular da equação de regressão.

A evapotranspiração da cultivar RB867515 não foi afetada significativamente quando o nível de salinidade aumentou de 3 para 6 dS m^{-1}, indicando menor sensibilidade ao estresse salino entre esses níveis de condutividade elétrica em comparação com as demais cultivares de cana-de-açúcar.

A evapotranspiração acumulada no período de maior demanda de água pela atmosfera, compreendido entre 11:00 e 14:00 horas, e em dias com pouca ou nenhuma nebulosidade, deve ser utilizada preferencialmente para a análise comparativa do efeito do estresse salino no uso de água por diferentes cultivares de cana-de-açúcar.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES, W.R.; SCHÖFFEL, E.R.; SILVA, S.D. dos A. e; EICHOLZ, E.; HÄRTER, A. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de clones de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.51, n.2, p.142-148, 2016.

AUGUSTINE, S.M.; NARAYAN, J.A.; SYAMALADEVI, D.P.; APPUNU, C.; CHAKRAVARTHI, M.; RAVICHANDRAN, V.; SUBRAMONIAN, N. Erianthus arundinaceus HSP70 (EaHSP70) overexpression increases drought and salinity tolerance in sugarcane (Saccharum spp. hybrid). **Plant Science**, v.232, p.23-34, 2015.

BATISTA, E.L. da S.; ZOLNIER, S.; RIBEIRO, A.; LYRA, G.B.; SILVA, T.G.F. da. BOEHRINGER, D. Avaliação do efeito do estresse hídrico no crescimento de cultivares de cana-de-açúcar usando um sistema automático de fertirrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.35, n.2, p.215-229, 2015.

BOEHRINGER, D.; ZOLNIER, S.; RIBEIRO, A.; STEIDLE NETO, A.J. Determinação do fluxo de seiva na cana-de-açúcar pelo método do balanço de energia caulinar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.33, n.2, p.237-248, 2013.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. v.2, n.4, Brasília, 2016, p.76.

JOHNSON, C.M.; STROUT, R.R., BROYER, T.C.; CARLTON, A.B. Comparative chlorine requirements of different species. **Plant and Soil**. V.8, p.327-353, 1957.

LACLAU, P.B.; LACLAU, J.P. Growth of the whole root system for a plant crop of sugarcane under rainfed and irrigated environments in Brazil. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.114, p.351-360, 2009.

LIMA, G. de; NOBRE, R.G.; GHEYI, H.R.; SOARES, L.A. dos A.; SILVA, A.O. da. Crescimento e componentes de produção da mamoneira sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.34, n.5, p. 854-866, 2014.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v.59, p.651-681, 2008.

PAGARIYA M.C.; DEVARUMATH R.M.; KAWAR P.G. Biochemical characterization and identification of differentially expressed candidate genes in salt stressed sugarcane. **Plant Science**, v.184, p.1-13, 2012.

PATADE, V.Y.; BHARGAVA, S.; SUPRASANNA, P. Salt and drought tolerance of sugarcane under iso-osmotic salt and water stress: growth, osmolytes accumulation, and antioxidant defense. **Journal of Plant Interactions**, v.6, n.4, 2011.

PEREIRA, A.R.; SEDIYAMA, G.C.; VILLA NOVA, N.A. **Evapotranspiração**. Campinas: Fundag, 2013, 323p.

PLAUT, Z.; MEINZER, F.C.; FEDERMAN, E. Leaf development, transpiration and ion uptake and distribution in sugarcane cultivars grown under salinity. **Plant and Soil**, v.218, p.59–69, 2000.

SANTANA, M.J. de, CARVALHO, J. de A., SOUZA, K.J. de, SOUSA, A.M.G. de, VASCONCELOS, C.L.; ANDRADE, L.A. de B. Efeitos da salinidade da água de irrigação na brotação e desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar (Saccharum spp) e em solos com diferentes níveis texturais. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, n.5, p.1470-1476, 2007.

SILVA, A.O. da; SILVA, Ê.F.F.E; KLAR, A. Manejo da fertirrigação e salinidade do solo no crescimento da cultura da beterraba. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.35, n.2, p.230-241, 2015.

SILVA, T.G.F. da; MOURA, M.S.B. de; ZOLNIER, S.; SOARES, J.M.; VIEIRA, V.J. de S.; GOMES JÚNIOR, W.F. Demanda hídrica e eficiência do uso de água da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.12, p.1257-1265, 2011.

SIMÕES, W.L.; CALGARO, M.; COELHO, D.S.; SANTOS, D.B. dos; SOUZA, M.A. Growth of sugar cane varieties under salinity. **Revista Ceres**, Viçosa, v.63, n.2, p.265-271, 2016.

TRENTIN, R.; ZOLNIER, S.; RIBEIRO, A.; STEIDLE NETO, A.J. Transpiração e temperatura foliar da cana-de-açúcar sob diferentes valores de potencial matricial. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.6, p.1085-1095, 2011.

WILLADINO, L.; FILHO, R.A. de O.; SILVA JUNIOR, E.A. da; GOUVEIA NETO, A.; CAMARA, T.R. Estresse salino em duas variedades de cana-de-açúcar: enzimas do sistema antioxidativo e fluorescência da clorofila. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n.2, p.417-422, 2011.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia utilizada permitiu aplicar e manejar, de forma satisfatória, os distintos níveis de salinidade, possibilitando a avaliação dos seus efeitos nas cultivares de cana-de-açúcar.

O sistema automatizado desenvolvido, composto pelo programa computacional e pelo microcontrolador Arduino, realizou a aquisição dos dados das variáveis meteorológicas no ambiente de cultivo e o acionamento das eletrobombas, as quais foram responsáveis pela aplicação da solução nutritiva em conjunto com diferentes níveis de salinidade. Dessa forma, esse sistema se mostra uma alternativa de utilização por outros pesquisadores.

O incremento da salinidade promoveu redução nas taxas de elongação do colmo e de incremento em área foliar de todas as variáveis morfológicas avaliadas ao final do experimento, sendo que a cultivar RB867515 apresentou as menores reduções, entre os níveis de 3 e 13 dS m^{-1}, nas variáveis relacionadas à produtividade da cultura. Observou-se que a cultivar RB867515 somente foi afetada pela salinidade a partir do nível com condutividade elétrica de 6 dS m^{-1}.

Verificou-se que incrementos da salinidade, estabelecidos pela adição de 0, 50, 100 e 150 mM L^{-1} de Cloreto de Sódio (NaCl) à solução nutritiva, reduzem linearmente a evapotranspiração das cultivares de cana-de-açúcar. Além disso, a evapotranspiração, compreendida no período entre 11:00 e 14:00 horas em dias menor nebulosidade, pode ser utilizada como um indicador para detectar as respostas das cultivares de cana-de-açúcar ao estresse salino.

APÊNDICE

Código fonte criado para realizar o monitoramento das variáveis meteorológicas e controle da frequência e duração da fertirrigação, por meio da utilização do microcontrolador Arduino.

```
//=============================================================================================
/*  Programa adaptado por JOÃO VITOR TOLEDO */
/*  Utilizado durante os experimentos de doutorado */

//Shield conversor ttl para RS-485
#include <SoftwareSerial.h>
#define RX 3    //ligar no pino RO do modulo ttl to rs485
#define TX 4    //ligar no pino DI
#define Controle_Tx_Rx 2    // conectar junto ao jump entre os pinos DE e RE
#define RS485Transmitir  HIGH   // Pino A = DATA+
#define RS485Receber     LOW    // Pino B = DATA-
SoftwareSerial RS485(RX, TX);

//Shield do cartão de memória:
#include <SD.h>  //biblioteca para cartão de memória
#include <SPI.h> //biblioteca para cartão de memória
#include <EEPROM.h>
/* Conexões dos fios:
 ** MOSI - pino 11
 ** MISO - pino 12
 ** CLK -  pino 13
 ** CS  -  pino 10  */
```

```
const int chipSelect = 10;
File dataFile;
Sd2Card card;
SdVolume volume;
SdFile root;

/* Conexões para o Shield RTC:
SDA - Pino A4;   SCL - Pino A5  */
#include <Wire.h>
#include <RTClib.h>
RTC_DS1307 RTC;

//Definindo PINOS para ligar os reles
#define Rele1 5
#define Rele2 6
#define Rele3 7
#define Rele4 8

//Declaração das variáveis externas
unsigned int  Ano, Tempo_Manual = 900; // 5min aplica aprox. 10 litros
double CJC[3], Modulo[2][3];
float Rg_cv[2], PAR_cv[2], Tar_cv[2], URar_cv[2], VV_cv[2];
byte i, EnvioDeDados = 1, Mes, Dia, Hora, Minuto, ss, Seg_ant, bomba[4],
      Minuto_anterior, x_1, Tempo_irrigação, Hora_irrigação1,    Hora_irrigação2;
boolean  Automatico = 1;
String inputString = "", Nome_arquivo; // string para armazenar dados enviados
char s;



//============================================================================
```

```
void setup()
{
  //inicializa o canal de comunicação serial (USB e Bluetooth)
  Serial.begin(19200);
  RS485.begin(9600);   //velocidade compatível com os módulos 7018

  pinMode(Controle_Tx_Rx, OUTPUT);
  digitalWrite(Controle_Tx_Rx, RS485Receber);  //Inicializa recebendo

  pinMode(Rele1, OUTPUT);   // Define o pino 5 como saída relé 1
  pinMode(Rele2, OUTPUT);   // Define o pino 6 como saída relé 2
  pinMode(Rele3, OUTPUT);   // Define o pino 7 como saída relé 3
  pinMode(Rele4, OUTPUT);   // Define o pino 8 como saída relé 4

  Wire.begin();
  RTC.begin();
  if (! RTC.isrunning()) {
    Serial.println("Rf");  // Rf=relógio com problema
    //As linhas abaixo setam a data e hora do modulo
  }

  Data_Tempo();
  Minuto_anterior = Minuto;

  //Para o SD
  pinMode(10, OUTPUT);
  if (!SD.begin(chipSelect)) {
    Serial.println("Cf");
    return;
  }
  card.init(SPI_HALF_SPEED, chipSelect);
```

```
  volume.init(card);

  //leitua na memória eeprom
  Tempo_irrigação = EEPROM.read(0);
  Hora_irrigação1 = EEPROM.read(1);
  Hora_irrigação2 = EEPROM.read(2);
}

//=============================================================================================
void loop()
{
  delay(100);
  Data_Tempo();

  if (Seg_ant != ss) {
    digitalWrite(Controle_Tx_Rx, RS485Receber);
    if ((ss == 1 ||  ss == 11 || ss == 21 ||  ss == 31 || ss == 41 || ss == 51 ) )
    {
      //Aquisição dos dados dos sensores
      Modulo_7018(14, 2, 0);  // Leitura dos canais 0 e 1 no modulo 14
      Modulo_7018(14, 1, 1);  // Leitura do sensor de temperatura do modulo 14
      Modulo_7018(18, 3, 0);  // Leitura dos canais 0, 1 e 2 no modulo 18
      Modulo_7018(18, 1, 1);  // Leitura do sensor de temperatura do modulo 18
      // Conversao dos sinais recebidos
      Rg_cv[0] = -1 * Modulo[0][0];
      Rg_cv[0] = (Rg_cv[0] / 147) * 1000;
      Rg_cv[0] = Rg_cv[0] * 1000 / 92.6;
      PAR_cv[0] = -1 * Modulo[0][1];
      PAR_cv[0] = (PAR_cv[0] / 604) * 1000;
      PAR_cv[0] = PAR_cv[0] * 1000 / 7.22;
      Tar_cv[0] = 100 * Modulo[1][0] - 40;
```

```
  URar_cv[0] = 100 * Modulo[1][1];
  VV_cv[0] = Modulo[1][2] * 10.16;

  if (Rg_cv[0] < 0) {
    Rg_cv[0] = 0;
  }
  if (PAR_cv[0] < 0) {
    PAR_cv[0] = 0;
  }
  if (VV_cv[0] < 0) {
    VV_cv[0] = 0;
  }

  // Valores incrementados a cada 5 segundos
  Rg_cv[1] += Rg_cv[0];
  PAR_cv[1] += PAR_cv[0];
  Tar_cv[1] += Tar_cv[0];
  URar_cv[1] += URar_cv[0];
  VV_cv[1] += VV_cv[0];
  CJC[2] +=  ((CJC[0] + CJC[1]) / 2);
  x_1++;  // contagem das leituras realizadas / minuto
}


if (Automatico == 1)
{
  if ((Minuto < Tempo_irrigação) && (Hora_irrigação1 == Hora || Hora_irrigação2 == Hora ))
  {
    digitalWrite(Rele1, HIGH);
    digitalWrite(Rele2, HIGH);
    digitalWrite(Rele3, HIGH);
```

```
        digitalWrite(Rele4, HIGH);
      }
      else {
        digitalWrite(Rele1, LOW);
        digitalWrite(Rele2, LOW);
        digitalWrite(Rele3, LOW);
        digitalWrite(Rele4, LOW);
      }
      Tempo_Manual = 900 ;
    }
    else {
      Tempo_Manual -= 1;

      if (Tempo_Manual < 1)
      {
        Tempo_Manual = 900 ;   // 15 min = 900 seg
        Automatico = 1;
      }
    }  // fim da função Automático
    Seg_ant = ss;
}

//a cada mudança no minuto ira salvar os dados no cartão de memória.
if (Minuto_anterior != Minuto) {
  EnvioDeDados = 1;
  if (x_1 != 0) {
    Rg_cv[1] /= x_1;
    PAR_cv[1] /= x_1;
    Tar_cv[1] /= x_1;
    URar_cv[1] /= x_1;
    VV_cv[1] /= x_1;
```

```
  CJC[2]  /= x_1;
  x_1 = 0;
}

// Gera o nome do arquivo com a data do dia, no formato "dd/mm/aa".
if  (Dia < 10 && Mes < 10) {
  Nome_arquivo = "0"+String(Dia)+"0"+String(Mes)+String(Ano - 2000);
}
else if (Dia > 9 && Mes < 10 ) {
  Nome_arquivo = String(Dia) + "0" + String(Mes) + String(Ano - 2000);
}
else if (Dia < 10 && Mes > 9 ) {
  Nome_arquivo = "0" + String(Dia) +  String(Mes) + String(Ano - 2000);
}
else {
  Nome_arquivo = String(Dia) + String(Mes) + String(Ano - 2000);
}
Nome_arquivo += ".csv";  // salva no formato csv.
//csv abre diretamente no Excel e o ";" é considerado separado de coluna.

File dataFile = SD.open(Nome_arquivo.c_str(), FILE_WRITE);
if (dataFile) {
  dataFile.print (Dia);
  dataFile.print ("/");
  dataFile.print (Mes);
  dataFile.print ("/");
  dataFile.print (String(Ano - 2000));
  dataFile.print (";");
  dataFile.print (Hora);
  dataFile.print (":");
  dataFile.print (Minuto);
```

```
  dataFile.print (";");
  dataFile.print (Rg_cv[1]);
  dataFile.print (";");
  dataFile.print (PAR_cv[1]);
  dataFile.print (";");
  dataFile.print (Tar_cv[1]);
  dataFile.print (";");
  dataFile.print (URar_cv[1]);
  dataFile.print (";");
  dataFile.print (VV_cv[1]);
  dataFile.print (";");
  dataFile.print (CJC[2]);
  dataFile.print (";");
  dataFile.print(digitalRead(Rele1));
  dataFile.print(";");
  dataFile.print(digitalRead(Rele2));
  dataFile.print(";");
  dataFile.print(digitalRead(Rele3));
  dataFile.print(";");
  dataFile.println(digitalRead(Rele4));
  dataFile.close(); // fecha o arquivo
}

//após gravação dos dados, as variáveis são zeradas.
Rg_cv[1] = 0;
PAR_cv[1] = 0;
Tar_cv[1] = 0;
URar_cv[1] = 0;
VV_cv[1] = 0;
CJC[2]  = 0;
```

```
  //a cada minuto verifica se houve alteração no valor da memória eeprom.
  Tempo_irrigação = EEPROM.read(0);
  Hora_irrigação1 = EEPROM.read(1);
  Hora_irrigação2 = EEPROM.read(2);

  Minuto_anterior = Minuto;
}


// Envia o valor lido para o computador pela porta serial, e
// também era enviado através do módulo Bluetooth
// As "|" no início e no fim teve a função de validar a String enviada.
// Foi desenvolvido um aplicativo para Android, na plataforma AppIventor2,
// que fazia a leitura da String e a separava. Por exemplo, colocava o
// o valor da temperatura na caixa de texto reservada para a temperatura.


if (EnvioDeDados == 1) {
  Serial.print("|" + String(Hora) + ":" + String(Minuto) + ":" + String(ss) + ";");
  Serial.println(String(Rg_cv[0]) + ";" + String(PAR_cv[0]) +
                 ";" + String(Tar_cv[0]) + ";" + String(URar_cv[0]) + ";" +
                 String(VV_cv[0]) + ";" + String(CJC[1]) +  ";" +
                 String(Tempo_irrigação) + ";" + String(x_1) + "|");
  Serial.println(String(digitalRead(Rele1)) + ";" + String(digitalRead(Rele2)) +
                 ";" + String(digitalRead(Rele3)) + ";" + String(digitalRead(Rele4)));

  if (Automatico == 0)  {
    Serial.print("Mf: ");
    Serial.println((Tempo_Manual / 60.00000001));
  }
}
```

```
if (EnvioDeDados == 2) {
  Serial.print("H1: ");
  Serial.println(Hora_irrigação1);
  Serial.print("H");
  Serial.println(Hora_irrigação2);
  Serial.print("TI: ");
  Serial.println(Tempo_irrigação);
}
EnvioDeDados = 0;
inputString = "";

// Procedimento de leitura na comunicação RS-485.
// Era utilizado para acionar os reles através do microcomputador.
if ( RS485.available() != 0) {
  byte dado_certo = 1;
  while (RS485.available() && dado_certo == 1) {
    s = RS485.read();
    if (s == '>' || s == '#' || s == '$') {
      dado_certo = 0;
    }
    inputString += s;

    // O comando era considerado correto se recebesse uma string com 6
    // caracteres iniciando e terminando com a letra "B". Por exemplo:
    // o comando "B1010B" é considerado correto e implica em ligar os
    // relés 1 e 3 e desligar os relés 2 e 4.
    if (inputString[0] == 'B' && inputString[5] == 'B') {
      for (i = 1; i < 5; i++) {
        if (inputString[i] == 48 || inputString[i] == 49) {
          bomba[i - 1] = inputString[i] - 48;
```

```
            }
            else {
              bomba[i - 1] = 0;
            }
          }
          Automatico = 0;
          Tempo_Manual = 2000; //mais de 30 min
          digitalWrite(Rele1, bomba[0] );
          digitalWrite(Rele2, bomba[1] );
          digitalWrite(Rele3, bomba[2] );
          digitalWrite(Rele4, bomba[3] );
          digitalWrite(Controle_Tx_Rx, RS485Transmitir);
          RS485.print("OK!"); // resposta para o microcomputador.
        }
      }
    }
  }
//================================================================================
void serialEvent() {
  inputString = "";
  // Enquanto a serial estiver enviando, será lido caractere por caractere.
  while (Serial.available()) {
    s = Serial.read();

    if (s == '#') {
      EnvioDeDados = 1;
      inputString = "";
    }

    if (s == '@') {
      EnvioDeDados = 2;
```

```
  inputString = "";
}

// Função desenvolvida para atualização do relógio (RTC)
// utilizando um comando via string. Por exemplo:
// para enviar configurar a Data no dia: 11/07/2016
// e a hora para: 08:54:27, deve ser enviada a string:
// Jul 11 2016085427^
if (s == '^') {   // o "^" sinaliza a entrada na Função.
  char data[11];
  char tempo[8];
  for (byte j = 0; j < 19; j++) {
    if (j < 11) {
      data[j] = inputString[j];
    }
    else {
      tempo [j - 11] = inputString[j];
    }
  }
  RTC.adjust(DateTime(data, tempo));
  Serial.println (inputString);
}

// Função desenvolvida para fazer a leitura dos dados de um dia.
// para conferir os dados armazenados, por exemplo, no dia 11/07/2016
// enviava o seguinte comando: 110716.csv`
if (s == '`') {      // o "`" sinaliza a entrada na Função.
  dataFile = SD.open(inputString.c_str());
  Serial.println(inputString.c_str());
  if (dataFile) {
    while (dataFile.available()) {
```

```
      Serial.write(dataFile.read());
    }
    dataFile.close(); // fecha o arquivo
  }
}

// Função para ligar ou desligar as bombas manualmente
if (s == 'm') {  // o "m" sinaliza a entrada na Função.
  Automatico = !Automatico;
  if (inputString.toInt() > 1) {
    Tempo_Manual = inputString.toInt() * 60;
    // Serial.println(Tempo_Manual);
  }
}

// Função para alterar o tempo de irrigação.
if (s == 't') {   //e.g.: 20t  = gravar tempo de 20 minutos.
  // Memória aceita ate 100.000 gravacoes
  EEPROM.write(0, inputString.toInt());
  Tempo_irrigação = EEPROM.read(0);
  Serial.print("TI: ");
  Serial.println(Tempo_irrigação);
  inputString = "";
}

// Função para gravar a primeira hora de irrigação
if (s == 'h') {   //e.g.: 18h  = gravar a hora de irrigação 18 horas.
  EEPROM.write(1, inputString.toInt());
  Hora_irrigação1 = EEPROM.read(1);
}
```

```
// Função para gravar segunda hora de irrigação
if (s == 'H') {   //e.g.: 18H  = gravar hora de irrigação para 18 horas
  EEPROM.write(2, inputString.toInt());
  Hora_irrigação2 = EEPROM.read(2);
}

//Função para Ligar Reles manualmente pelo aplicativo Android
if (s == 'l') {
  if (inputString.toInt() == 1) { //vai converter 1l em núm. 1
    digitalWrite(Rele1, HIGH);
  }
  if (inputString.toInt() == 2) { //vai converter 2l em núm. 2
    digitalWrite(Rele2, HIGH);
  }
  if (inputString.toInt() == 3) {
    digitalWrite(Rele3, HIGH);
  }
  if (inputString.toInt() == 4) {
    digitalWrite(Rele4, HIGH);
  }
}

//Função para Desligar Reles manualmente pelo aplicativo Android
if  (s == 'd') {
  if (inputString.toInt() == 1) {
    digitalWrite(Rele1, LOW);
  }
  if (inputString.toInt() == 2) {
    digitalWrite(Rele2, LOW);
  }
  if (inputString.toInt() == 3) {
```

```
        digitalWrite(Rele3, LOW);
      }
      if (inputString.toInt() == 4) {
        digitalWrite(Rele4, LOW);
      }
    }
    inputString += s;   //adiciona cada caractere na String inputString.
  }

  if (inputString == "LA") { //comando de leitura dos arquivos no cartão
    root.openRoot(volume);
    root.ls(LS_R );      //| LS_SIZE );//| LS_DATE);
  }
  Serial.println(inputString);
  inputString = "";
} // Fim da Função Serial.Event


//=============================================================================================
// Função para obter a data e o tempo no módulo relógio (RTC).
void Data_Tempo()
{
  DateTime now = RTC.now();
  Ano = now.year();
  Mes = now.month();
  Dia = now.day();
  Hora = now.hour();
  Minuto = now.minute();
  ss = now.second();   //ss = segundo.
}
//=============================================================================================
```

```
// Função para fazer a leitura nos módulos de aquisição de dados
void Modulo_7018 (byte End, byte c, byte t) {
  byte adr = 10, erros = 0, canal = 0;
  if (End == 14) {
    adr = 0;
  }
  if (End == 18) {
    adr = 1;
  }
  while (canal < c) {
    digitalWrite(Controle_Tx_Rx, RS485Transmitir);
    // delay(1);
    if (t == 0) {
      RS485.println('#' + String(End) + String(canal));
    }
    else {
      RS485.println('$' + String(End) + '3');
    }
    digitalWrite(Controle_Tx_Rx, RS485Receber);
    delay(12);  //  pode ser alterado
    inputString = "";
    if ( RS485.available() != 0) {
      while (RS485.available()) {
        s = RS485.read();
        inputString += s;
      }
      byte BytesLidos = inputString.length();
      char NumChar[BytesLidos - 2];
      if (inputString[0] == 62 && inputString[BytesLidos - 1] == 13 && BytesLidos == 9) {
        for (i = 1; i < BytesLidos; i++) {
          NumChar[i - 1] = inputString[i];
```

```
        }
        if (t == 0) {
          Modulo[adr][canal] = atof(NumChar);
          //  Serial.println(canal);
          // Serial.println(Modulo[adr][canal]);
        }
        else {
          CJC[adr] = atof(NumChar);
          //  Serial.println(CJC[adr]);
        }
        erros = 61;
      }
    }
    erros++;
    if (erros > 60) { //  faz a leitura do próximo canal se tiver mais 60 erros
      canal++;
    }
    inputString = "";
  }
}
//================================================================================
```