

CONSTRUÇÃO E ANÁLISE DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS PARA CONTROLAR IRRIGAÇÕES E MONITORAR SENSORES USADOS EM PLANTAS HERBÁCEAS

V. B. Figueiredo¹, A. P. L. Xavier², A. L. V. de Souza², P. A. de A. Costa³, A. E. G. F. Vieira⁴

RESUMO: O objetivo do trabalho foi analisar um sistema de aquisição de dados (SAD) construído para controlar as irrigações e fazer a coleta de dados de sensores de fluxo de seiva por dissipação térmica (SFD) e de sensores de umidade do solo por tensiometria (TET), também construídos. Os sensores SFD foram construídos usando termopares e agulhas de pequena dimensão utilizando o método de Granier, e, os sensores TET utilizando o transdutor de pressão MPX5100DP com tensiômetros. O SAD e os sensores foram analisados em laboratório relacionando os dados obtidos por um SAD comercial. Já o controlador de irrigação deste SAD foi analisado num experimento com Abobrinha. Este experimento foi realizado aplicando quatro tratamentos de lâminas de irrigação em quatro repetições, verificando a abertura/fechamento de válvulas elétricas para irrigação. Comparando os dados coletados dos sensores do SAD com as do SAD comercial, verificou uma correlação acima de 99%. Já com o controlador de irrigação do SAD foi verificado que as plantas que receberam a maior lâmina de irrigação, obtiveram produções significativamente iguais ($P < 0,05$) ao tratamento testemunha e maiores que os demais tratamentos.

PALAVRAS-CHAVE: Automação da irrigação, fluxo de seiva, umidade do solo.

CONSTRUCTION AND ANALYSIS OF DATA ACQUISITION SYSTEM FOR CONTROL IRRIGATIONS AND MONITORING SENSORS IN HERBACEOUS PLANTS

SUMMARY: The objective of this work was analyze a Data Acquisition System (SAD) construct to control the irrigations and collect the data of Sap Flow sensors by thermal Dissipation (SFD) and soil moisture sensors by tensiometry (TET), also construct. The SFD

¹ Prof. Doutor, Centro de Ciências Agrárias, UFERSA, Caixa Postal 137, CEP 59625-900, Mossoró, RN. Fone (84) 3317-8330. E-mail: vladimir@ufersa.edu.br.

² Acadêmica de Engenharia Agrícola e Ambiental, Centro de Engenharia, UFERSA, Mossoró, RN. E-mail: apnlma@live.com, ana_luizaveras@hotmail.com

³ Acadêmica de Agronomia, Centro de Ciências Agrárias, UFERSA, Mossoró, RN. E-mail: paula-alinne@bol.com.br

⁴ Mestrando, Centro de Ciências Exatas e Naturais, UFERSA, Mossoró, RN. E-mail: arthur_vieira07@hotmail.com

sensors were constructed using thermocouples and small needles using the Granier method, and the TET sensors using the pressure transducer MPX5100DP with tensiometers. The SAD and the sensors were analyzed in the laboratory relating the data obtained by a commercial SAD. The irrigation controller of this SAD was analyzed in an experiment with Zucchini. This experiment was carried out by applying four treatments of irrigation depths in four replications, verifying the opening/closing of electric valves for irrigation. Comparing the data collected from the SAD sensors with those of the commercial SAD, it found a correlation above 99%. With the SAD irrigation controller, it was verified that the plants that received the highest irrigation depth were significantly equal ($P < 0.05$) to the control treatment and higher than the other treatments.

KEYWORDS: Irrigation automation, sap flow, soil moisture.

INTRODUÇÃO

A necessidade hídrica das plantas continuam sendo objeto de estudo, sendo importante avaliar o desempenho dos métodos de estimativa da evapotranspiração da cultura (ETc) (Coelho Filho et al., 2004). Associado a estas necessidades, a rápida evolução da eletrônica, bem como à expansão crescente do mercado, tem possibilitado o acesso à tecnologia e ferramentas de ponta para determinação da demanda hídrica das culturas, que antes eram disponíveis apenas em laboratórios bem equipados e centros de pesquisa.

Então para melhorar o cultivo de plantas, a utilização da automação dos sistemas irrigados aliado a determinações precisas do consumo de água para as culturas se torna imprescindível. O uso de registradores de dados de forma automática possibilita, entre outras vantagens, a eliminação de erros humanos na leitura dos sensores, erros de digitação, perdas de dados, sincronismo da leitura entre vários instrumentos e frequência de leitura com intervalos precisos (Gomide, 1998). Aliado ao uso de registradores de dados, para que tenhamos um sistema de aquisição de dados (SAD) completo há a necessidade de utilização de sensores.

Grande parte destes estudos englobam medidas de transpiração de plantas e umidade do solo para estimativa da ETc. Com relação a transpiração, um método bastante utilizado é o de fluxo de seiva principalmente em frutíferas lenhosas, em que se baseia em metodologias de fornecimento de calor no tronco. A estimativa da transpiração com base na metodologia de fornecimento de calor no tronco pressupõe a equivalência entre o fluxo de seiva no tronco e o

fluxo transpiratório nas superfícies foliares, pressuposto válido quando se considera o fluxo em escala diária (Coelho Filho et al., 2004; Delgado-Rojas et al., 2007). Com relação a umidade do solo, tem sido utilizado sensores como o tensiômetro, sondas capacitivas, o TDR, o FDR, sonda de nêutrons, placas de vidro, etc (Brito et al. 2009). Além disso, para melhorar o monitoramento das irrigações, pode-se utilizar do conhecimento da automação, que é realizada dentre os vários equipamentos principalmente os controladores de irrigação e as válvulas de abertura/fechamento dos setores de irrigação. O objetivo deste trabalho foi analisar um Sistema de Aquisição de Dados, construído para monitorar sensores de fluxo de seiva por dissipação térmica, sensores de umidade do solo, e, para ser utilizado como um controlador de irrigação.

MATERIAL E MÉTODOS

O Sistema de Aquisição de Dados (SAD), o sensor de Fluxo de Seiva por Dissipação térmica (SFD) e o Tensiômetro Eletrônico (TET) foram construídos e calibrados no laboratório de Manejo e Automação na Irrigação do Centro de Engenharia – CE da UFERSA, Mossoró-RN. O SAD tem a finalidade de automatizar o sistema de irrigação, por decisão da abertura ou fechamento de válvulas elétricas (solenóides) por determinado tempo de acordo com cada tratamento proposto, caracterizando as irrigações no campo. Será desenvolvido usando vários dispositivos eletrônicos como microcontroladores, conversores analógicos/digitais (A/D), condicionadores de sinal, reguladores de tensão, placa de circuito, e componentes eletrônicos discretos (resistores, capacitores, diodos, etc.) utilizados em eletrônica, cada qual com sua funcionalidade e características eletroeletrônicas, buscado aqueles componentes de baixo custo de aquisição e relativa precisão. A construção do SAD foi baseada na placa Arduino[®] como componente central, a qual se utilizou o modelo MEGA2560 que contem portas analógicas, portas I/O e de controle de tensão (milivolts) e programação em linguagem de programação “C” com uso do compilador de própria interface do Arduino (Figura 1). Em conjunto com o Arduino foi adicionado para compor o SAD um módulo de relógio (Real Time Clock RTC DS1307), um módulo de armazenamento cartão SD (MicroSD), um display de LCD 16x2 e uma placa de relé com 8 canais, além de reguladores e condicionadores de sinal (acoplamento/desacoplamento) construídos para aferir a corrente contínua ao sensor SFD e condicionar o sinal do sensor TET, respectivamente.

Tratando-se de um microcontrolador, que contém componentes externo a ele, é importante para seu funcionamento, dispor de um programa em sua memória interna para

ajustar e configurar seus dispositivos de forma a tratar os sinais de entrada e saída de maneira automática, podendo ser interrompido por comandos gerados pelo operador. Estes conjuntos de informações definem como irão funcionar suas portas de entradas e saídas (I/O), o seu tempo de resposta aos comandos e a forma de tratamentos desses sinais. Através de um software programador/gravador compatível com o Arduíno (Sketch) será possível enviar e armazenar um programa, este deve estar em linguagem de máquina (ARQUIVO.uno por exemplo) na memória flash interna do microprocessador, em endereço predefinido pelo fabricante.

O SFD foi construído de acordo com Granier (1985), onde o sistema de medida envolve a inserção perpendicular no tronco de duas sondas de temperatura do tipo termopar distanciados entre si, na mesma linha vertical do tronco. Foi utilizado 2 agulhas hipodérmicas de tamanho 40 x 1,2 mm, cortadas com auxílio de um esmeril no comprimento desejado de 0,8 cm correspondente ao raio médio dos caules das culturas a serem avaliadas. A construção da sonda dissipadora de calor foi realizada com algumas alterações do que Granier (1985) descreve, pois se trata de plantas de caule de diâmetro bem menores daquelas plantas utilizadas por este autor. Dessa forma, no interior de cada agulha, foi inserida a junção dos fios de cobre e de constantan (Termopar tipo T), com 0,07 mm de diâmetro cada um, formando duas sondas de temperatura, sendo que, em uma das sondas foi enrolado um fio de constantan em volta do termopar já dentro da agulha, como descreve Izídio et al. (2014), formando então a sonda dissipadora de calor por aquecimento da corrente contínua que vem do regulador de tensão (Figura 2). No interior de cada sonda será inserido pasta térmica para uniformizar o calor em volta da sonda que se encontra dentro da agulha.

Foram construídos 16 sensores SFD, todos idênticos com tamanhos de fios dissipadores, 12 cm, que proporcionam resistências de 15,6 ohm, respectivamente. Foi construído para cada sensor de dissipação térmica um regulador de corrente (Figura 3) totalizando 16 reguladores, pelo qual, foram ligados a fontes de energia de 12v. Os reguladores têm como objetivo manter a corrente e a potência dissipada constante (em 0,1w), mesmo com a variação da tensão em torno dos 12 volts na fonte de energia, fazendo com que a saída de tensão para os sensores SFD seja regulada em 1,25v.

A calibração do sensor SFD foi realizada comparando-se seus dados coletados num SAD comercial modelo CR1000 da Campbell Scientific com os dados coletados de um sensor SFD comercial modelo ECK-SF2 da Ecomatik[®].

Com relação a construção do sensor de umidade do solo (TET), utilizou-se do sensor de pressão MPX5100DP da Motorola[®], Tubo (mangueira) de pequeno diâmetro, fios elétricos e

tensiômetro de PVC com borracha. O transdutor de pressão da MPX5100DP possui escala de leitura na faixa de 0 a 100 kPa. Para calibração do TET, foi instalado o sensor com o SAD construído e um outro sensor idêntico com um SAD comercial modelo CR1000 da Campbell Scientific, onde os dois sensores foram posicionados nas mesmas condições e submetidos a sucções iguais.

Para validarmos o controlador de irrigação do SAD construído, foi instalado um experimento em casa de vegetação (extensões de 8 x 20 m) com a cultura do Abobrinha cultivar Goianinha, plantadas em vasos com capacidade de 30 litros com furos em sua parte inferior, onde foram cobertos por uma camada de brita (3 cm) e uma manta de birdim com diâmetro superior ao do vaso para compor o sistema de drenagem e por fim colocado solo seco e peneirado. Foi adotado um espaçamento de 0,8 m entre linhas e 0,5 m entre plantas, onde cada linha correspondeu a um bloco experimental (4 repetições).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos inteiramente casualizados, constituído por quatro tratamentos (T) e quatro repetições, totalizando 16 plantas (excetuando as bordaduras). Os tratamentos consistirão de quatro lâminas de irrigação (determinados pelo cálculo da evapotranspiração da cultura – ETc) usando o controlador de irrigação do SAD construído, sendo: 120% da ETc (T1), 100% da ETc (T2), 80% da ETc (T3) e 60% da ETc (T4).

O solo utilizado no experimento foi obtido em área não cultivada pertencente à UFERSA que, após seco e peneirado (peneira de 2 mm), colocado nos vasos de modo que a sua borda ficou 5 cm abaixo do nível do solo. O cultivo foi realizado utilizando espaldeiras verticais de 1,9 m de altura, com quatro fios presos e esticados por mourões espaçados em 0,8 m na linha de plantio. A irrigação foi realizada por gotejamento com tubogotejadores espaçados de 0,5 m e vazão de 2,3 L h⁻¹. Os dados climáticos foram coletados semanalmente numa estação meteorológica instalada no local.

Os dados deste experimento foram analisados por análise de variância, utilizando-se o software R, onde as médias entre os tratamentos comparadas pelo teste Tukey a 5% de significância e regressão linear. Os sensores SFD e TET foram comparados por análise de regressão linear, avaliando a precisão do modelo dada pelo coeficiente de correlação (r) que indica o grau de dispersão dos dados obtidos em relação à média. Além disso, utilizou-se o coeficiente de exatidão (d), que está associada ao desvio entre valores estimados e medidos, dado pelo índice de Willmott e o coeficiente de desempenho (c) que é o produto de r e d ($c = r*d$) (Camargo & Sentelhas, 1997).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de calibração do sensor de Fluxo de Seiva por Dissipação Térmica (SFD) podem ser vistos na Figura 4a, onde se observa que a correlação entre este sensor e um sensor SFD comercial modelo ECK-SF2. Verifica-se que a correlação entre os dados foi muito elevada, o que pode ser comprovado pelo elevado coeficientes de determinação, R^2 de 99,76%, isto é, o sensor SFD construído pode ser utilizado para medida do fluxo de seiva de plantas de caule reduzido, se levado em consideração o modelo comercial como padrão. Os valores obtidos permitem dizer que as diferenças de temperatura do SFD construído são menores que o SFD comercial, e, isto é ocasionado pela forma diferente de construção destes sensores. Como a sonda dissipadora encontra-se dentro da agulha no SFD construído e o tamanho do fio é pequeno (12 cm), o calor produzido foi menor que o encontrado pelo SFD comercial. Mas devido a elevada correlação esse fato não impede de forma alguma a utilização do SFD construído.

Além das relações encontradas na Figuras 4a, normalmente sempre se faz necessário o uso de alguns outros indicadores estatísticos (Coelho Filho et al., 2004) devido a grande importância das medidas destes tipos de sensores, pois são estas medidas que serão usadas na demanda hídrica das culturas. Para tanto, podem ser visto na Tabela 1 os coeficientes estatísticos encontrados para o SFD. Verifica-se que os valores de r , d e c são muito próximos de 1 o que indica que os modelos adotados na Figura 4 são muito bons.

Os dados de calibração do sensor de Tensiômetro Eletrônico (TET) podem ser vistos na Figura 4b, onde se observa que a correlação deste sensor quando os dados foram coletados no SAD construído (TET-SAD) e quando um sensor idêntico foi coletado num SAD comercial CR1000 da Campbell Scientific (TET-DAT). Verifica-se que a correlação entre os dados foi muito elevada, o que pode ser comprovado pelo elevado coeficientes de determinação, R^2 de 99,98%, isto é, os dois sensores TET construídos, submetido as mesmas condições do ensaio mas instalados em SAD diferentes, comprova que o SAD construído em conjunto com o TET podem serem utilizados para determinar indiretamente a umidade do solo por tensiometria, se levamos em consideração o datalogger da Campbell Scientific como padrão.

Da mesma forma como no sensor de SFD, também foram realizadas as dos indicadores estatísticos recomendados por Coelho Filho et al. (2004), também devido a grande importância das medidas destes tipos de sensores, pois são estas medidas que serão usadas na demanda hídrica das culturas. Para tanto, podem ser visto na Tabela 2 os coeficientes

estatísticos encontrados para o TET-SAD. Verifica-se que os valores de r , d e c são muito próximos de 1 o que indica que os modelos adotados na Figura 4 são muito bons.

Na Figura 5 pode ser observado o SAD construído, mostrando os componentes como o Arduino, Display, relógio, cartão de memória, placa de relé e materiais utilizados normalmente em eletrônica como a placa de fenolite e os bornes. O SAD foi acondicionado em caixa de plástico e esta dentro de um abrigo de fibra-amianto, para coleta e armazenamento dos dados dos trabalhos em campo.

Pode ser visto na Tabela 3 que, as diferentes lâminas de irrigação afetaram significativamente o peso médio total dos frutos por planta (PMT) da abobrinha Goianinha. Verifica-se também que pelo teste de comparação das médias, o tratamento T1 foi significativamente igual a tratamento T2 e estes foram maiores que os tratamentos T3 e T4. O tratamento T3 também foi significativamente maior que o tratamento T4. Estes resultados foram obtidos usando o controlador de irrigação do SAD construído. Durante todo o experimento, verificou-se que mesmo na falta de energia ocorridas, esse controlador funcionou adequadamente, sem atrasos ou adiantamentos nos horários de abertura/fechamento das válvulas elétricas de irrigação. Como vantagens do controlador de irrigação construído, na programação de horários e de dias de irrigação não ocorre nenhuma restrição, podendo ser alterado minuto a minuto, bem como podemos acionar várias válvulas ao mesmo tempo e desligá-las em tempos diferentes. Também pode-se instalar conjuntos motobombas monofásicas de até 5 cv sem problemas com este controlador. Na maioria dos controladores vendidos atualmente, para que este faça o mesmo ditos anteriormente, o custo do equipamento se torna bastante elevado.

Na Figura 6 verifica-se os valores de PMT em função das lâminas de irrigação aplicadas onde houve ajuste significativo do modelo linear e que a diminuição da lâmina de irrigação diminui o PMT linearmente. Nesse caso o PMT apresentou um aumento de 4,64 mg/planta por aumento de % da lâmina de irrigação aplicada. Com os dados da Tabela 3 e Figura 6, analisa-se que a diminuição da PMT da maior lâmina de irrigação (120% da ETc) em relação a menor (60% da ETc) foi de 46,7%.

CONCLUSÕES

O SAD e os sensores construídos mostraram alta precisão (R^2 e índices de precisão acima de 99%) em suas coletas. Estes equipamentos são compactos e se mostraram de fácil manuseio.

Verificou-se que a produção das plantas foi afetada pela lâmina de irrigação e que as plantas que receberam a maior lâmina de irrigação, obtiveram produções significativamente iguais ($P < 0,05$) ao tratamento testemunha e maiores que os demais tratamentos. Com isto, verificou-se que controlador de irrigação do SAD construído funcionou perfeitamente na aplicação dos tratamentos e sem interrupções.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRITO, A. S.; LIBARDI, P.L.; MOTA, J. C. A.; MORAES, S. O. Desempenho do tensiômetro com diferentes sistemas de leitura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, n.1, p.17-24, 2009.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

COELHO FILHO, M. A.; VELLAME, L. M.; COELHO, E. F. SOUZA, C. F. Instalação e operação de sistemas de aquisição e armazenamento de dados para o monitoramento do sistema solo-água-plantas. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004. 136p. (Documentos n. 143).

DELGADO-ROJAS, J. S.; ANGELOCCI, L. R.; FOLEGATTI, M. V.; COELHO FILHO, M. A. Desempenho da sonda de dissipação térmica na medida da transpiração de plantas jovens de lima ácida. *Revista Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.27, n.2, p.404-413, 2007

GOMIDE, R. Monitoramento para manejo da irrigação: instrumentação, automação e métodos. In: FARIA, M. A., SILVA, E. L., VILELA, L. A. A., PEREIRA, G. M. Manejo de irrigação. Poços de Caldas: SBEA/UFLA/DEG, 1998. p.133-238.

GRANIER, A. Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans Le tronc des arbres. *Annales des Sciences Forestières*, Nancy, v.42, n.2, p. 193-200, 1985.

IZÍDIO, N. S. C.; FIGUEIRÊDO, V. B.; BATISTA, A. A.; SANTOS, T. C.; ALVES, N. M. S. Calibração de equações para estimativa do fluxo de seiva por dissipação térmica no meloeiro. In: INOVAGRI INTERNACIONAL MEETING, 2, 2014, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, II INOVAGRI, 2014.

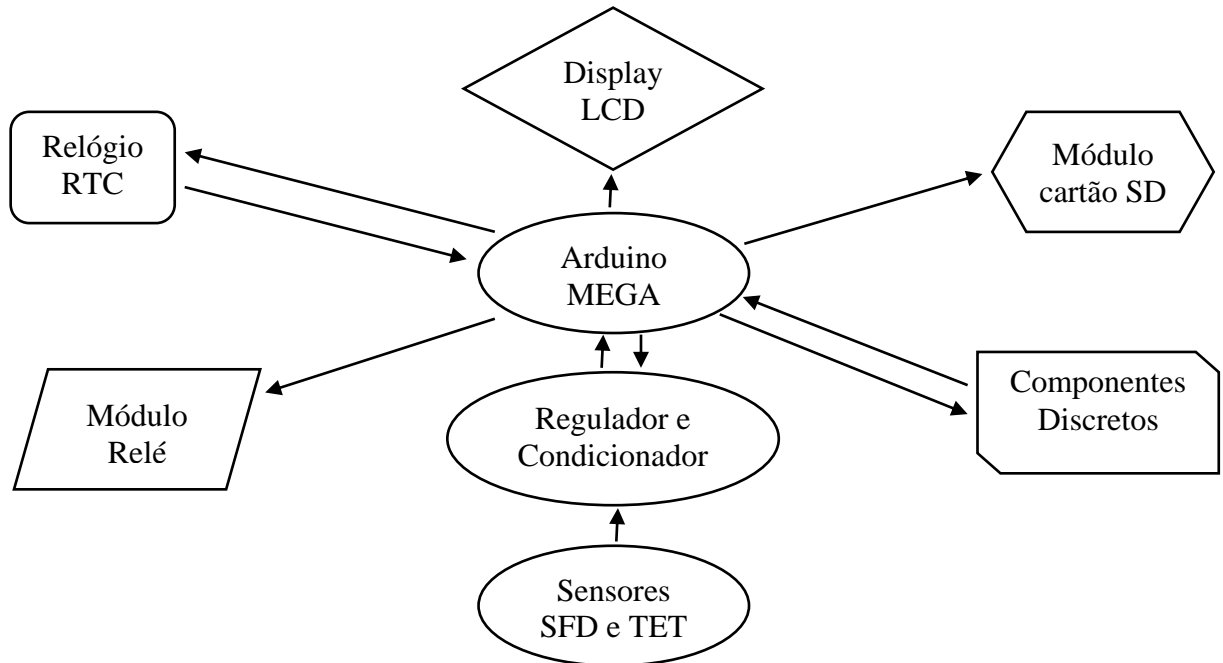


Figura 1. Diagrama esquemático dos componentes do SAD construído.

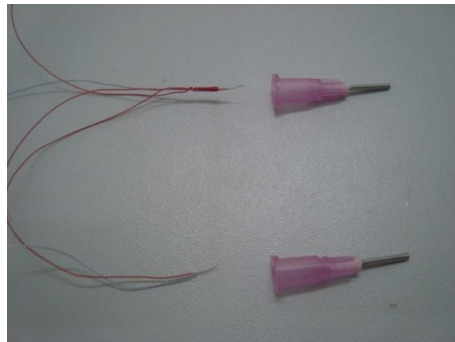


Figura 2. Ligação dos termopares em série com a resistência até as agulhas hipodérmicas.

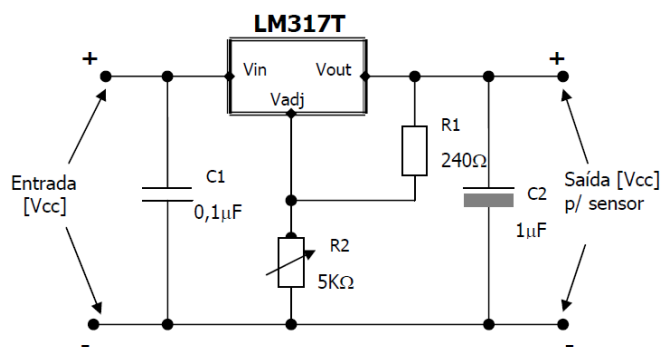


Figura 3. Esquema do circuito eletrônico do regulador ajustável de tensão contínua e foto do regulador construído em fase de teste.

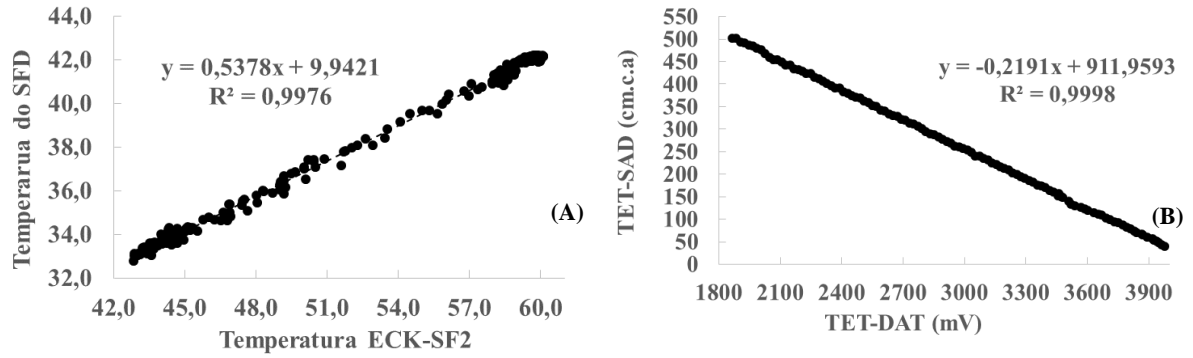


Figura 4. Correlação entre as temperaturas medidas no SFD construído e no ECK-SF2 modelo comercial (A) e Correlação entre as medidas realizadas no sensor TET com o SAD (TET-SAD) e a medidas desse mesmo sensor com o datalogger CR1000 da Campbell Scientific (TET-DAT) (B).

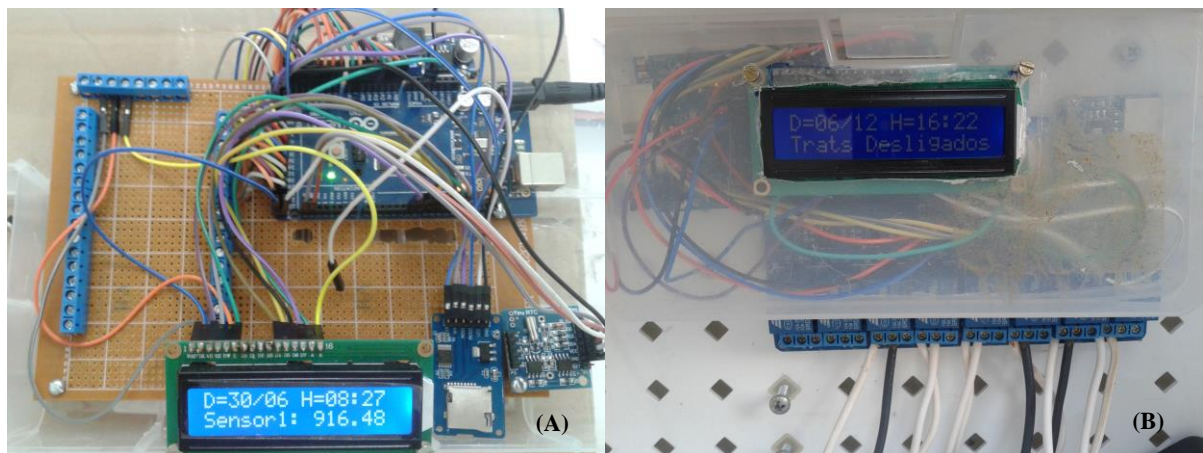


Figura 5. SAD construído mostrando os componentes utilizados (A) e o controlador de irrigação do SAD (B).

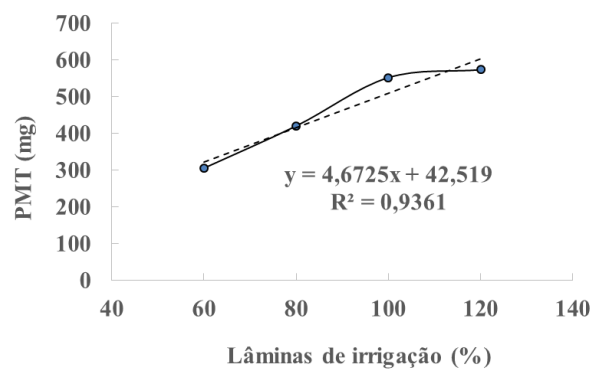


Figura 6. Correlação entre as lâminas de irrigação (Tratamentos) e o peso médio total dos frutos por planta (PMT) em “mg” do cultivo da abobrinha cv. Goianinha.

Tabela 1. Performance do sensor de SFD, TET e SAD construídos.

Coefficientes Estatísticos	SFDs	TET-SADs
r	0,99879	0,99989
d	0,99999	0,99999
c	0,99879	0,99989

Tabela 2. Resumo da ANAVA o peso médio total dos frutos por planta (PMT) em “mg” do cultivo da abobrinha cv. Goianinha.

Fator de Variação	GL	QMR	Estatística F
Bloco	3	382,94 ^{ns}	0,745 ^{ns}
Tratamentos	3	62193,16 [*]	121,025 [*]
Resíduo	9	513,89	-
C.V. (%)			4,90
Médias			
T1		573,54 a	
T2		552,13 a	
T3		420,60 b	
T4		306,89 c	

^{ns} não significativo;

^{*} significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F;

Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

É preciso cuidado para não perder a batalha, não por ser mais fraco, mas por não saber escolher