

Uso de Transdutor LVDT para monitorar o efeito do clima em culturas energéticas¹

Anderson Miguel Lenz², Felipe Fernandes Klajn², Carlos Eduardo Camargo Nogueira³, Flávio Gurgacz², Samuel Nelson Melegari de Souza³

¹ Aceito para publicação no 1º Trimestre de 2015

² Mestrandos em Engenharia de Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, andersonmm25@gmail.com, afkfelipe@hotmail.com, flavio.guargcz@unioeste.br

³ Professores Dr. da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, cecn1@yahoo.com.br, samuel.souza@unioeste.br

Resumo

O monitoramento de aspectos relacionados ao cultivo de espécimes de interesse agrícola representa um avanço em termos de produtividade e economia financeira, uma vez que permite uma dosagem precisa de atitude frente a determinado problema. O sensor *Linear Variable Differential Transformer*, ou sensor LVDT, dentre inúmeras outras aplicações, possibilita medidas precisas do controle das necessidades hídricas da planta através da leitura das variações diárias de crescimento do caule. O equipamento fornece informações em tempo real e apresenta um nível de desgaste muito baixo em virtude da movimentação de suas peças dar-se por meio eletromagnético, sem contato físico direto. Com a finalidade de adquirir informações sobre o comportamento hídrico de plantios destinados ao mercado energético, construiu-se um sensor LVDT para culturas que não formem caules com colmos, neste caso o girassol. Testou-se a correlação das informações fornecidas pelo equipamento e a verificação

in loco da planta para comprovar a veracidade dos dados, com resultados satisfatórios e que certificaram a fiabilidade do sensor.

Palavras-chave: LVDT, girassol, variação do caule.

Abstract

The monitoring aspects related to the cultivation of agricultural interest specimens represent an advance in terms of productivity and financial savings, since it allows a precisely attitude against certain problem. The Linear Variable Differential Transformer sensor, or LVDT sensor, among many other applications, enables a precise measurement of water control in plants throughout the daily stem growth variations. The equipment provides a real time information and shows a low wear level due to the electromagnetic effect, without a directly physical contact. In order to acquire information about the hydric regime of energy plantations, a LVDT sensor was built for cultures that do not form thatches on the stem, more specifically the sunflower plant. The correlation about the information given by the equipment and the real needs of the plant was tested to prove the data veracity, with satisfactory results that certified the sensor reliability.

Key-words: LVDT, sunflower, stem variation.

Introdução

Na tomada de decisões referentes a otimização do sistema produtivo agrícola, é crucial que haja um monitoramento das variáveis que mais influenciam na elaboração do produto final desejado, a fim de obterem-se ganhos econômicos e competitivos. No setor agrícola, uma das variáveis que mais atendem a esta descrição é a água. Apesar de não existir um levantamento estatístico muito preciso, estima-se que a agricultura irrigada consuma cerca de 64,7% de água provinda de diferentes fontes, não estando inclusas neste percentual as técnicas agrícolas em terrenos de pluviosidade diminuta (agricultura de sequeiro), tampouco a água da chuva. A cultura do arroz, seguida de frutíferas e hortaliças, e enfim das culturas e de grãos são, nesta ordem, as que mais consomem água. As florestas e pastagens, apesar de necessitarem de um bom volume ao longo do ano, requerem um volume diário médio muito destoante de água quando comparado as culturas anuais (EMBRAPA, 2008).

Em plantas herbáceas, a concentração de água pode atingir até 90% do peso fresco destas plantas, enquanto em se tratando de espécies lenhosas essa representação pode estar perto dos 50%. A água atua em diversos processos metabólicos dos vegetais, agindo na dissolução de inúmeras substâncias, como ocorrem com determinadas proteínas que ao não formarem uma solução com a água, acabam formando sistemas coloidais e contribuindo para o movimento citoplasmático, já que esse necessita passar do estado sol para gel. Também os gases necessários à fotossíntese, O₂ e CO₂, encontram-se dissolvidos na água. Outrossim, as reações de hidrólise e condensação e demais reações bioquímicas dependem dos nutrientes e condições que o meio aquoso oferece (DIAS, 2008; SPIESS, 2014).

A água, adicionalmente, atua no transporte de substâncias entre diferentes partes da planta e é o meio pelo qual os gametas móveis se valem para a fertilização. Outro importante ponto conferido pela água é denotado no crescimento do vegetal, no qual o fenômeno da turgescência provoca o aumento de volume celular e estimula o alongamento da célula, sendo portanto uma condição sine quo nom no correto desenvolvimento do espécime. (DIAS, 2008; NYMAN e HASKÅ, 2013).

O status de necessidade hídrica da planta determina o momento de irrigação. Uma das formas de avaliar o estresse hídrico é a troca gasosa das folhas, entretanto como esta medição é de difícil avaliação. A partir daí, a estabeleceram-se dois índices de medição da variação do diâmetro do caule, denominados contração diurna do tronco (MDS) e taxa de crescimento do tronco (TGR). O primeiro índice tem sido usado como parâmetro de avaliação do estresse hídrico já que se apresenta com valores mais elevados em plantas cultivadas em solos áridos em comparação com as de solo irrigado. Entretanto, não se apresenta como técnica viável para todas as culturas, não mostrando fiabilidade de resultados em culturas perenes como a oliva e uva (MORIANA AND FERERES, 2002; INTRIGLIOLO e CASTEL, 2007; FERNÁNDEZ e CUEVAS, 2010; INTRIGLIOLO et al., 2011).

O girassol é uma das principais culturas mundiais responsáveis pelo fornecimento de óleo comestível, atendendo, dentre as culturas anuais, por 16% da produção mundial de óleo. Levando-se em consideração as demais plantas produtoras de óleo (anuais e perenes), atinge 9% da fatia mundial do mercado de óleos. Além de excelentes propriedades nutricionais (valor protéico, óleo poliinsaturado), razão pela qual é muito utilizado na dieta humana, o girassol também vêm despertando a atenção do setor energético, principalmente no tocante a

produção de biodiesel. (EMBRAPA; BUDRYN et al., 2014; PICKARDT et al., 2015; REYERO et al., 2015; PICKARDT et al., 2011).

O cultivo do girassol adapta-se muito bem na maioria dos solos agricultáveis do Estado brasileiro, podendo desenvolver-se desde o Rio Grande do Sul até o norte do país, em estados como Roraima. Possui atualmente área cultivada com fins comerciais em nove estados (Ceará, Bahia, Rondônia, Paraná, Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Rio Grande do Sul), principalmente após a cultura da soja, como safrinha. A possibilidade de extração mecânica do óleo, aliada ao uso da torta resultante da prensagem para uso em ração animal, tornam o cultivo competitivo e agregam valor ao produto, contribuindo também a melhores ganhos para a agricultura familiar (EMBRAPA).

Entretanto, para maiores ganhos de produtividade, principalmente em climas secos, é necessário um monitoramento das condições climáticas que interferem no crescimento da cultura, dentre os quais um dos parâmetros que se destacam é a variação diária do tamanho do caule. A transpiração, definida como a perda de água da planta na forma de vapor, faz com que o caule tenha seu tamanho reduzido durante o dia e aumentado durante a noite, devido a variação de amplitude térmica verificada em cada período. Em caso de estresse hídrico, há um maior decréscimo deste tamanho durante o dia e uma menor recuperação no período noturno, afetando diretamente o crescimento e desenvolvimento da planta (SILBER et al., 2013; ZHOU et al., 2014)

Contudo, como a variação do diâmetro do caule é pouco perceptível, necessita-se usar um instrumento capaz de detectar sutis variações em ordens micrométricas, e para isso utiliza-se do chamado Linear Variable Differential Transformer, também chamado de sensor LVDT. Este equipamento é capaz de medir variações lineares, emitindo como na saída um sinal linear proporcional ao deslocamento do núcleo em que se encontra fixado (CHIRIAC et al., 2000), neste caso, o caule. Para efetuar tal medição, uma corrente alternada é aplicada em uma das bobinas do aparelho, chamada de primária, movimentando um núcleo e induzindo uma tensão em outras duas bobinas, denominadas de secundárias. A variação deste núcleo modifica a indutância gerada, o que influencia de igual modo a indutância nas outras bobinas. O sinal de saída é dado pela diferença entre as tensões produzidas nas duas bobinas secundárias, e refletirá a variação da mudança do diâmetro do caule (AL-SHARIF et al., 2011).

Neste sentido, o presente trabalho possui como objeto de estudo e pesquisa o monitoramento da influência do clima no estado hídrico do girassol através do uso do sensor LVDT, desenvolvido especialmente para as culturas que possuam caules lenhosos e que não formem colmos, dentre os quais enquadra-se o espécime em questão.

Materiais e Métodos

Neste experimento, utilizou-se como equipamento basilar das medições de variação do caule o sensor LVDT desenvolvido por SIENA e LENZ, 2013.

O deslocamento do diâmetro do caule é de suma importância na checagem prática da ocorrência ou não de estresse hídrico vegetal. A medida deste deslocamento em equipamentos pode dar-se tanto por rotação de peças cilíndricas como por variações de linearidade, como o que é apresentado no sensor LVDT. Conforme denota a figura 1, o deslocamento linear é auferido pela diferença entre as posições ocupadas ao longo de um eixo único, além do sentido e a direção em que isso ocorre. Em aplicações industriais, essas medições são na ordem de milímetros ou ainda polegadas.

As variações do diâmetro do caule, medidas precisamente pelo sensor LVDT, são o reflexo de alguns componentes principais, quais são o inevitável crescimento radial, o efeito reversível da hidratação e reidratação das células vivas da planta além da expansão de condutores mortos internos do vegetal devido ao aumento e relaxamento das tensões internas. A interpretação dos resultados do LVDT permitem uma distinção entre estes componentes, verificando qual o mais atuante em cada caso (DAUDET et al., 2005). Um dos parâmetros medidos por sensores para detectar esta variação do caule é o encolhimento máximo diário, testado em cultivos de maçãs (NAOR e COHEN, 2003), limões (ORTUÑO et al., 2004), tomates (GALLARDO et al., 2006), entre outros, no qual o LVDT é o sensor aplicado. Seus principais diferenciais são o controle contínuo do estresse hídrico e a disponibilidade dos dados em tempo real, que proveem uma economia de tempo ao diminuir a necessidade de idas ao campo para monitoramento desses parâmetros (PÉREZ-LÓPEZ et al., 2013).

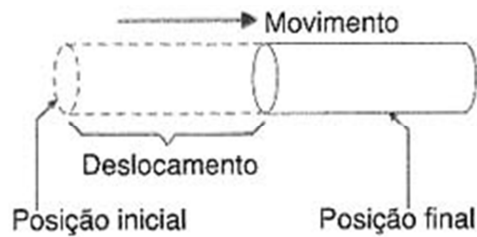


Figura 1. Como ocorre o deslocamento no sensor LVDT. Fonte: <http://www.newtonbraga.com.br/index.php/como-funciona/826-como-funcionam-os-lvdt>

A justificativa das medições apresentadas pelo sensor LVDT encontram fundamento no fenômeno da indução eletromagnética, o qual com o mínimo movimento do seu núcleo, representado por uma haste metálica e acoplado no caule da planta, gera uma variação de tensão correspondentes a posição do núcleo, possibilitando monitorar pequenas variações do diâmetro do caule. O referido sensor é composto como mostra a figura 2:

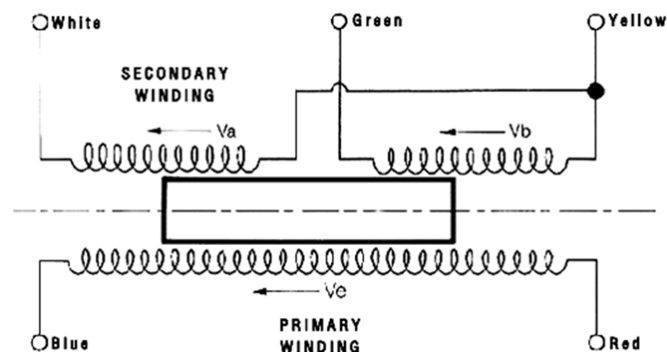


Figura 2. Estruturação do sensor LVDT. Fonte: <http://www.newtonbraga.com.br/index.php/como-funciona/826-como-funcionam-os-lvdt>.

O sensor, conforme ilustração, é composto de um enrolamento primário, duas bobinas secundárias, um núcleo móvel, além de um mecanismo de acoplamento que pode ser visualizado em contato com o caule da planta na figura 3.

Em sua alimentação, o enrolamento primário é excitado por uma tensão alternada com 10 volts de amplitude, alimentando-se de frequência variando de 1 a 10 kHz, na qual, segundo

WELDER e LENZ (2013), a frequência de 7 kHz foi a mais adequada para este tipo de sensor. A tensão que chega ao enrolamento primário induz tensões nos dois enrolamentos secundários, tensões estas que têm sua amplitude modificada dependendo do tipo de material usado na construção do núcleo, bem como sua posição. Caso o núcleo esteja na posição central, as tensões induzidas em ambos rolamentos secundários são equivalentes, de modo que a medida de saída é nula, já que a diferença de tensão é igual a zero. Entretanto, caso o núcleo desloque-se em virtude da movimentação do objeto ao qual está acoplado, a medida de saída passa a adquirir valor, pois o resultado da variação das duas bobinas produzirá valor maior que zero. A tensão de saída é diretamente proporcional ao deslocamento do núcleo.

As configurações apresentadas por este tipo de sensor o colocam em vantagem perante os demais que se colocam como opções de mercado, visto que, como as bobinas são acopladas mediante um núcleo sem qualquer contato elétrico, o nível de desgaste verificado é muito pequeno, além de que possibilitam detecções de ordens micrométricas. Em virtude da tensão de saída ser obtida pelo fluxo eletromagnético, que se forma por qualquer variação linear do objeto posto em análise. Uma tecnologia recentemente desenvolvida que emprega fios cobertos com um vidro magnético amorfo promete reduzir o tamanho do sensor a aumentar ainda mais a resistência mecânica (CHIRIAC e ÓVARI, 1996; CHIRIAC et al., 1997).

Para poder verificar o desempenho do sensor em monitorar o efeito do clima em culturas energéticas, semearam-se, em um vaso comum, algumas sementes de girassol. O vaso foi irrigado diariamente com volume de três litros de água distribuídos ao longo do dia, procedimento efetuado até a 4ª semana após a emergência da plântula. Neste período, foi instalado o sensor LVDT no caule da planta de girassol, tomando-se os cuidados necessários para evitar qualquer avaria à planta. No momento do acoplamento, inferiu-se o diâmetro do caule (que resultou em 12,26 milímetros) e em seguida adaptou-se um sistema de coleta de dados na saída do sensor. O monitoramento da variação do caule foi realizado no período de 8 dias, de 28/02/2013 até 07/03/2013. Na figura 3 é possível visualizar a montagem do sensor, interrompendo-se o fornecimento de água e deixando as plantas expostas as variações do clima após sua instalação:



Figura 3: Instalação do sensor LVDT em caule do girassol. Fonte: o autor.

Resultados e Discussão

O efeito da variação da radiação solar sobre o diâmetro do caule pode ser visualizado no gráfico 1. Pode-se notar que, nos dois primeiros dias, a planta experimentou uma variação normal do caule ao longo do dia, contraindo nos períodos de exposição solar e dilatando na ausência de radiação luminosa. Após estes dois dias, pode-se notar que há uma contração do caule, já que o valor máximo do dia 03/03/2013 ficou abaixo do valor máximo do dia anterior, acontecendo o mesmo para o menor valor abaixo do mínimo correspondente ao dia 02/03/2013, contração esta caracterizada como estresse hídrico em razão da perda de água para o meio.

A região apontada pela seta vermelha indica uma clara caracterização de estresse hídrico, assim a planta já não dispõe de água em quantidade necessária para seu funcionamento normal. Estas evidências complementam-se com o exposto na Figura 4, com o solo apresentando reduzido potencial matricial, corroborando diretamente com o déficit hídrico na planta. O espaço tempo localizado entre as setas vermelhas e azul indica um período em que a contração do caule foi tamanha que excedeu os limites de leitura do sensor, assim neste período apresentando valor de tensão constante.

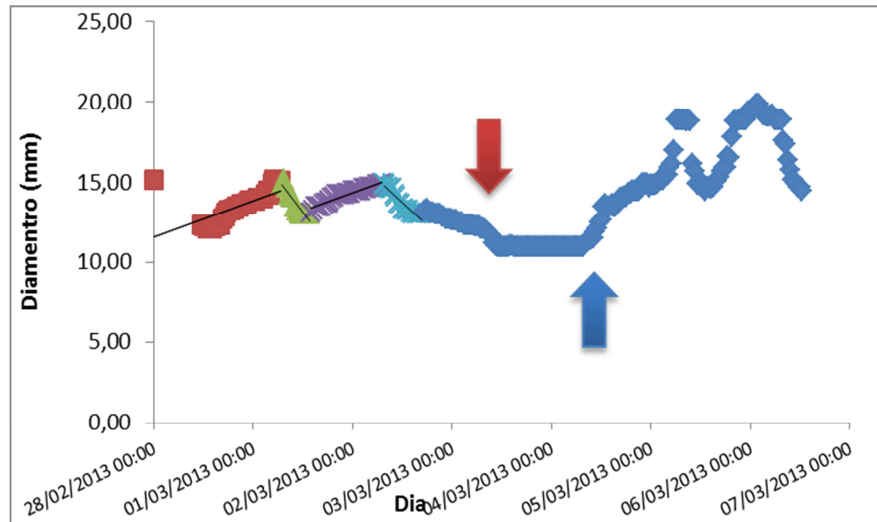


Gráfico 1: Variação do diâmetro do caule do girassol ao longo dos dias.

O caule de alguns tipos de plantas é caracterizado pelo crescimento oscilatório de suas células, fazendo com que seus caules variem sua amplitude radial de forma circular ou elipsoide durante vários dias, como é o caso do girassol (BASKIN, 2007). Isto é característico principalmente no período vegetativo da planta, onde esta cresce devido a disponibilidade de água e nutrientes associada a variação da radiação luminosa do Sol, que é um dos elementos da fotossíntese.



Figura 4: Girassol em estado de estresse hídrico.

Após a detecção do estado de estresse hídrico via monitoramento do sensor e posterior constatação visual, no dia 04/03/2013, forneceu-se suplementação hídrica à cultura o que possibilitou uma reestruturação do seu desenvolvimento normal. A seta azul do gráfico 1 comprova a recuperação da planta, a partir do qual voltou a apresentar uma maior variação diária do caule em razão da mudança positiva das características do solo, que passou a reter mais água face a recuperação de sua propriedade matricial. A melhora da planta pode ser vista na Figura 5:



Figura 5: Girassol recuperado frente ao estresse hídrico

O uso do sensor LVDT encontra espaço também no campo dos biocombustíveis, em aplicações de determinação de parâmetros volumétricos de biodieséis expostos a altas pressões de operação. RODRÍGUEZ-ANTÓN et. al. (2008) valeram-se de um LVDT para detectar as variações de volume específico do biodiesel residual e diesel convencional. APARICIO et al. (2007) fizeram medições similares empregando uma margem maior de pressões (de 0,1 até 350 Mpa) com óleo de colza.

Conclusão

Através da consecução do presente trabalho, pode-se verificar a fiabilidade do sistema LVDT desenvolvido na detecção do estresse hídrico provocado pelo clima em culturas energéticas via monitoramento e análise do sinal de saída fornecido pelo mesmo, especificamente a do girassol, conferido por detecção visual, com posterior recuperação do desenvolvimento natural da planta frente ao fornecimento de água.

O sensor construído pode também ser utilizado na escolha de espécimes mais resistentes as variações climáticas, assim como detectar pontos ideais de irrigação visando uma economicidade hídrica e por conseqüente financeira, já que a leitura de saída do sistema permite interpretar e agir apenas nos momentos em que é necessária uma intervenção no suprimento de água e na quantia ideal. Estes fatores acabam por reduzir custos, aumentar a vida útil de equipamentos relacionados a irrigação agrícola, e por conseqüência aumentar a competitividade do sistema.

REFERÊNCIAS

AL-SHARIF et al., 2011. **Linear Variable Differential Transformer Design and Verification Using MATLAB and Finite Element Analysis MATLAB for Engineers – Applications in Control, Electrical Engineering, IT and Robotics**. Disponível em <<http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/21220.pdf>>.

APARICIO et al., 2007. **Determination of rapeseed methyl ester oil volumetric properties in high pressure (0,1 to 350 Mpa)**. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. V.89, n.1, pp. 13-19.

BASKIN, T.I., 2007. **Ultradian Growth Oscillations in Organs: Physiological Signal or Noise?**. Biology Department, University of Massachusetts. Disponível em <http://www.bio.umass.edu/biology/baskin/pubpdfs/Baskin_07OSC.pdf>.

BUDRYN et al., 2014. **Properties of model systems of sunflower oil and green coffee extract after heat treatment and storage**. LWT – Food Science and Technology. V. 59, n.1, pp. 467-478.

CHIRIAC H., ÓVARI T.A., 1996. **Amorphous glass-covered magnetic wires: Preparation, properties, applications**. Progress in Materials Science. V. 40, n.5, pp. 333-407.

CHIRIAC et al., 1997. **Amorphous glass-covered magnetic wires for sensing applications. Sensors and Actuators A: Physical**. V. 59, n. 1-3, pp. 243-251.

CHIRIAC et al., 2000. **Linear variable differential transformer sensor using glass-covered amorphous wires as active core**. Journal of Magnetism and Magnetic Materials. V. 215-216, pp. 759-761.

DAUDET et al., 2005. **Experimental analysis of the role of water and carbon in tree stem diameter variations**. Journal of Experimental Botany. Vol. 56, n. 409, p. 135.

DIAS, L.B., 2008. **Água nas Plantas**. Universidade Federal de Lavras. Disponível em <http://www.ceapdesign.com.br/pdf/monografias/monografia_agua_nas_plantas_lucia.pdf>.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2008. **Entrevista: água na agricultura**. Jornal Eletrônico da Embrapa Milho e Sorgo (Sete Lagoas – MG). Ano 02, Ed. 6.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Girassol**. Disponível em <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/girassol>>.

FERNÁNDEZ e CUEVAS, 2010. **Irrigation scheduling from stem diameter variations: a review**. Agriculture and Forest Meteorology. V.150, pp. 135–151.

GALLARDO et al., 2006. **Use of stem diameter variations to detect plant water stress in tomato.** Irrigation Science. V. 24, pp. 185-202.

INTRIGLIOLO e CASTEL, 2007. **Evaluation of grapevine water status from trunk diameter variations.** Irrigation Science. V. 26, pp. 49–59.

INTRIGLIOLO et al. **Usefulness of trunk diameter variation as continuous water stress indicators of pomegranate trees.** Agricultural Water Management. Volume 98, (2011), pp. 1462 – 1468.

MORIANA, A., FERERES, E., 2002. **Plant indicators for scheduling irrigation of young olive trees.** Irrigation Science. V.21, n. 2, pp. 83–90.

NAOR, A., COHEN, S., 2003. **Sensitivity and variability of maximum trunk shrinkage, midday stem water potential, and transpiration rate in response to withholding irrigation from field grown apple trees.** HortScience. V. 38, pp. 547 – 551.

NYMAN, M., e HASKÅ,L., 2013. **Vegetable, fruit and potato fibres.** Fibre-Rich and Wholegrain Foods. Pp. 193-207.

ORTUÑO et al., 2004. **Interpreting trunk diameter changes in young lemon trees under deficient irrigation.** Plant Science. V. 167, pp. 275 – 280.

PÉREZ-LÓPEZ et al., 2013. **Influence of different cultivars - locations on maximum daily shrinkage indicators: Limits to the reference baseline approach.** Agricultural Water Management. V.127, pp. 31-39.

PICKARDT et al., 2011. **Processing of low polyphenol protein isolates from residues of sunflower seed oil production.** Procedia Food Science. V. 1, pp. 1417-1424.

PICKARDT et al., 2015. **Pilot plant preparation of light-coloured protein isolates from de-oiled sunflower (*Helianthus annuus* L.) press cake by mild-acidic protein extraction and polyphenol adsorption.** Food Hydrocolloids. V. 44, pp. 208-219.

REYERO et al., 2015. **Kinetics of the NaOH-catalyzed transesterification of sunflower oil with ethanol to produce biodiesel.** Fuel Processing Technology. V. 129, pp. 147-155.

RODRÍGUEZ-ANTÓN et al., 2008. **Volumetric properties at high pressure of waste oil methyl ester compared with diesel oil.** Fuel. V.87, n. 10-11, pp. 1934-1940.

SILBER et al., 2013. **Combined effect of irrigation regime and fruit load on the patterns of trunk-variation of ‘Hass’ avocado at different phonological periods.** Agricultural Water Management. V. 129, pp. 87-94.

SPIESS, W.E.L., 2014. **Virtual Water and Water Footprint of Food Production and Processing.** Encyclopedia of Agriculture and Food Systems. Pp. 333-355.

WELDER S. e LENZ A.M., 2013. **Desenvolvimento de um transdutor LVDT e Datalogger para o *phytomonitoring*.** Disponível em <
http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1382/1/MD_COMIN_2012_2_04.pdf>.

ZHOU et al., 2014. **In situ observation of thermal and hydraulic responses of sunflower stem to cold water irrigation using embedded thermocouples.** Computers and Eletronics in Agriculture. V. 109, pp. 195-199.