

DESENVOLVIMENTO DE UMA REDE DE SENSORES INTELIGENTES PARA AQUISIÇÃO DE RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA PARA APLICAÇÃO NA AGRICULTURA¹

Darlei Elias Schiling², Mateus Felzke Schonardie³, Jonas Rodrigo Kinas⁴, Luís Fernando Sauthier⁵, Maurício De Campos⁶.

¹ Pesquisa incorporada no Grupo de Automação Industrial e Controle (GAIC) da UNIJUI em parceria com o Departamento da Agronomia com a finalidade de aprimorar um sistema de aquisição de dados da radiação fotossinteticamente ativa.

² Aluno do Curso de Engenharia Elétrica da UNIJUI, Bolsista PIBIC/CNPq, eliaschiling@gmail.com

³ Professor Doutor em Engenharia Elétrica da UNIJUI, DCEEng - Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, coordenador da pesquisa, mateus.schonardie@unijui.edu.br

⁴ Aluno do Curso de Engenharia Elétrica da UNIJUI, Bolsista P&D, jonataskinas@yahoo.com.br

⁵ Aluno do Curso de Engenharia Elétrica da UNIJUI, Bolsista P&D, luisfernandosauthier@gmail.com

⁶ Professor Mestre em Engenharia Elétrica da UNIJUI, DCEEng - Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, colaborador da pesquisa, campos@unijui.edu.br

1. INTRODUÇÃO

A luz é formada por fótons fluindo no ar a uma determinada velocidade. Cada fóton carrega uma quantidade de energia que está relacionada com o seu comprimento de onda e portanto a uma cor dentre as demais que compõem a luz branca. Ou seja, a luz é formada por uma mistura de diversas cores das quais compõem o arco-íris. Essa composição de cores pode ser chamada de espectro de luz visível ou ainda Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA) ou PAR (photosynthetically active radiation).

A parcela de radiação que é aproveitada pelas plantas para a realização do processo de fotossíntese é a RFA. A fim de se obter uma medição do espectro de luz visível (RFA), diversos pesquisadores definiram uma faixa espectral do comprimento de onda de luz, sendo elas muito semelhantes. No trabalho de (MCCREE, 1972) foram testadas algumas destas definições chegando ao resultado de que a faixa espectral dos 400 nm aos 700 nm era a mais precisa, conforme mostra a Figura 1. Esta largura de onda de 400 nm a 700 nm pode ser expressa na forma de energia (W / m^2) ou em quantum ($mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) (MCCREE, 1981).

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXIII Seminário de Iniciação Científica

Figura 1 – Região de Luz Visível do Espectro Eletromagnético



Fonte: NASA (2010)

Segundo (NASA, 2010), toda radiação eletromagnética é luz, mas é possível enxergar apenas uma pequena porção dessa radiação eletromagnética, a qual é denominada de luz visível. O espectro de comprimentos de onda compreende uma região maior, da qual fazem parte a radiação ultravioleta, o raio X e o Gama com comprimentos de onda menores que 400 nm. Acima dos 700nm, tem-se o infravermelho, micro-ondas, a comunicação RF, a rádio FM, a televisão e o radio AM.

No campo das Ciências Biológicas e no Setor Agrícola, o estudo da RFA é de suma importância, porque ela interfere diretamente no processo de crescimento das plantas. Isto torna a sua caracterização e seu efeito muito importante no setor agrícola. Pela absorção da RFA, as plantas convertem a energia luminosa em energia química necessária para seus processos vitais (TAIZ & ZEIGER, 2004).

A RFA age regulando vários processos do desenvolvimento, como a taxa de fotossíntese, biossíntese de pigmentos, assimilação de nitrogênio e anatomia foliar, entre outros processos (LIMA, 2006). Apesar de representar grande importância em áreas biológicas e agrônomicas, a RFA ainda é um estudo com pouco embasamento teórico na bibliografia especializada, resultando na escassez de informações precisas.

O setor agrícola no Brasil é uma área com baixos investimentos em tecnologia, que aos poucos vem sendo modernizado. Neste contexto, ter o conhecimento sobre a distribuição de RFA nas diferentes culturas é importante, podendo ser uma ferramenta poderosa no processo de tomada de decisões na agricultura, auxiliando em estudos que visam à maximização da produção agrícola de uma determinada cultura, maximizando os lucros.

Para aquisição dos dados de RFA, é necessário utilizar um sistema composto por sensores e uma base armazenadora de dados. Estes dados armazenados são posteriormente analisados através de ferramentas computacionais, onde as conclusões poderão determinar futuras ações nas mais diversas culturas. O grande desafio é obter estes dados de forma confiável e para isto faz-se necessário estudar as possibilidades existentes no mercado, ou mesmo propor novas ideias.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXIII Seminário de Iniciação Científica

Outro grande desafio que os processos atuais deste tipo de medição tem é o fato de serem compostos por barras de sensores solares (células fotovoltaicas) ligados a uma base recolhadora de informações através de fios elétricos. Estas estruturas que utilizam fios para a ligação entre os sensores e a base limitam o raio de medição e apresentam diversos problemas de comunicação e perda de dados, principalmente pelo fato do equipamento ficar exposto ao sol e chuva nas lavouras.

Assim, o presente projeto prevê o desenvolvimento de uma rede de aquisição de dados de RFA com múltiplos sensores com tecnologia wireless. Busca-se realizar o monitoramento através de uma rede de microcontroladores que efetuarão o armazenamento dos dados em um computador portátil, como por exemplo, uma Raspberry Pi. Estes dados armazenados poderão futuramente ser avaliados através de ferramentas computacionais.

2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do projeto, primeiramente foi necessário um estudo aprofundado sobre o tema, afim de consolidar uma base solida de aquisição dos dados de radiação de forma precisa e coerente. Logo no início da pesquisa foi possível perceber uma grande dificuldade em se obter informações precisas e fundamentadas sobre o tema. Partiu-se então para o desafio de obter uma forma mais coerente com os objetivos deste trabalho.

Para a obtenção dos níveis de RFA optou-se por trabalhar com um método direto através de sensores quânticos. Em geral, pode-se utilizar sensores como fotodiodos de arsenieto de gálio, cujo espectro se situa de 300 a 680 nm, valores estes muito próximo da faixa espectral desejada. Ou ainda, podem ser utilizadas células fotovoltaicas, mas para isto é necessário observar a faixa espectral de recebimento de radiação, cujos valores dependem do material e do fabricante.

No presente projeto foi definida a utilização de células fotovoltaicas de silício amorfo para a aquisição do fator de RFA, sendo a faixa espectral de 350 a 750 nm e que possui uma área ativa de 40 mm², fabricada pela empresa Solems, situada na França.

O parâmetro utilizado para fazer a leitura do nível de RFA é a corrente de curto circuito, que é diretamente proporcional a sua intensidade. Para fazer a aquisição de um sinal em níveis de tensão e facilitar a medição, colocou-se uma resistência de carga em paralelo com a célula. A corrente de carga é muito próxima a corrente de curto circuito.

Definindo-se então os parâmetros como sendo: ISC – Corrente de curto circuito; RC – Resistencia de carga; Im – Corrente na carga; Vm – Tensão na carga; E – Intensidade de luz em lux; Emax – Máxima intensidade de luz; é possível determinar a tensão na carga por:

$$V_m = R_C \cdot I_m \quad (1)$$

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXIII Seminário de Iniciação Científica

Para manter esta linearidade, é necessário fazer a conversão da tensão em lux e posteriormente em unidade de RFA. O valor de V_m adquirido deve ter um valor máximo de 100 mV para a intensidade máxima de luz E_{max} , pois acima desse valor não há uma linearidade. Para valores ainda maiores haverá uma queda significativa no valor da corrente, conforme Figura 2a que mostra o comportamento de uma célula com área ativa 1,45 cm², submetida a 1000 lux.

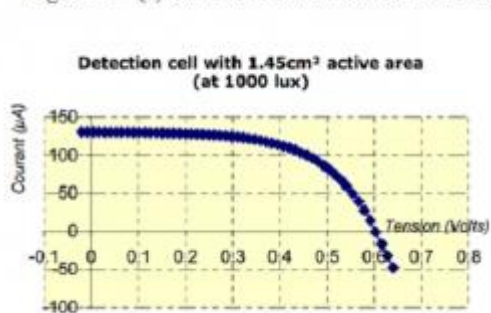
Pode-se também afirmar que $ISC = I_m$ dentro da faixa de 0 a E_{max} que trata-se da intensidade máxima de luz estabelecida. Por fim, precisa-se estabelecer um valor para resistência R_C :

$$R_C = V_m / I_m \quad (2)$$

Sendo $V_m < 0,1$ V e ainda I_m sendo a corrente para E_{max} . Desta maneira o sinal a ser medido será diretamente proporcional a intensidade E . Para calcular ISC a uma dada intensidade utiliza-se a equação 3.

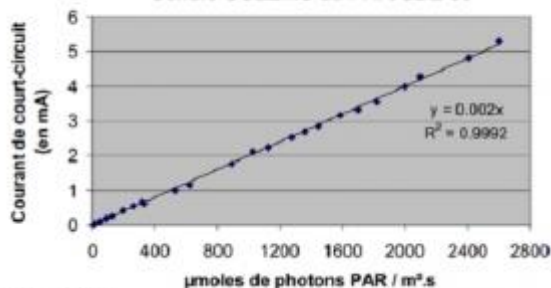
$$ISC = (S_a \cdot J_0 \cdot E) / 100000 \quad (3)$$

Figura 2 – (a) Corrente e Tensão da Célula Solems.



Fonte: LABOURET

(b) Corrente de Curto-Circuito e unidade RFA. Cellule SOLEMS du PAR/CBE 80



Onde: ISC – Corrente de curto circuito dada em miliamperes; S_a – Área ativa da célula em cm²; J_0 – Intensidade de corrente em 100000 igual a 9 mA/cm²; e E – Intensidade luz em lux.

Dessa forma é possível calcular a corrente de curto circuito para encontrar a resistência de carga a ser adicionada em paralelo com a célula Solems para aquisição de RFA. Foram definidos os seguintes parâmetros para o cálculo da ISC : $S_a = 0,4$ cm²; $J_0 = 9$ mA/cm²; e $E = 140400$ lux.

A intensidade de luz foi definida para uma máxima medição de 2600 µmol . m⁻² . s⁻¹. Esse parâmetro deve ser convertido em unidades de lux a fim de se realizar o cálculo, sendo multiplicado

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXIII Seminário de Iniciação Científica

por um fator de 54, ou dividido se for realizar a operação inversa. Resultando para uma medição máxima de 100 mV tem-se 2600 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ou então 140400 lux.

Assim, foi possível obter a resistência de carga a ser utilizada no projeto, através das equações 3 e 2, cujos valores encontrados foram: $\text{ISC} = 5,0544 \text{ mA}$ e $\text{RC} = 19,78474201 \text{ Ohms}$. Na prática, será utilizada uma resistência de 18 Ohms em serie com uma de 1,8 Ohms, totalizando 19,8 Ohms.

Com isto, é possível realizar as medições que podem ser efetuadas com um multímetro, para então, a partir do valor obtido em mV, realizar a conversão para unidade $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ de RFA. Observou-se que há uma linearidade entre a tensão e a unidade de RFA, o que possibilita realizar a conversão destes dados facilmente. A figura 2b mostra o comportamento linear.

Sendo uma interpolação de uma equação linear com os dados de corrente de curto circuito pela RFA pode-se observar que o resultado do R2. Trata-se do índice que classifica a qualidade da interpolação como excelente, provando a linearidade em relação a corrente e, portanto, a tensão sendo obtida facilmente pela lei de Ohm.

Dessa forma foi possível iniciar alguns testes de campo a fim de provar a teoria que foi apresentada anteriormente. Nesta etapa, foi necessário utilizar um equipamento comercial específico de medição de RFA para verificar se os valores medidos estavam de acordo com o esperado. Trata-se do dispositivo para medição de RFA da marca Accupar, modelo LP80, cedido pelo laboratório do curso de Agronomia da UNIJUI. A plataforma de testes montada pode ser vista na Figura 3a, contendo a célula de medição, um multímetro e o LP80. Os valores de RFA foram obtidos com um multímetro.

Figura 3 – (a) Plataforma de Medição da RFA.



(b) Comunicação de dados em fase inicial de testes



Fonte: Do Autor

Na Figura 3a, pode-se converter os 57,4 mV do display do multímetro que está conectado a célula Solems para a unidade de RFA. Assim os 57,4 mV correspondem a 1492,4 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ de RFA.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXIII Seminário de Iniciação Científica

Ainda é importante resaltar que para resultados mais eficientes nos horários em que o sol não se encontra perpendicular ao sistema de medição, deve-se considerar o método da correção de cosseno, que consiste em utilizar a célula Solems atrás de um difusor. Por exemplo, um difusor de acrílico de 50% de transmissão irá permitir que se tenha 50% da corrente de curto circuito. Assim, para obter os 100mv para o nível máximo de RFA poder-se-ia colocar uma resistência de carga com o dobro do valor.

Definidas as metodologias e parâmetros para medição, a próxima etapa consiste no estudo sobre os métodos e os equipamentos necessários para a transmissão e recepção das informações via wireless. O sistema desenvolvido tem como base o conceito de sensores inteligentes. Os Módulos Sensores Inteligentes (MSI's) são dispositivos capazes de realizar funções de sensoriamento, processamento e transmissão/recebimento de dados. Podem ainda realizar a leitura de até quatro grandezas digitais ou analógicas, comunicando-se através de uma rede sem fio.

O sistema é gerenciado por um microcontrolador PIC18F4550. Este foi escolhido pois agrega suporte a vários periféricos, como por exemplo, conversor analógico-digital (A/D) de 10 bits, quatro temporizadores, interface serial EUSART (Enhanced Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter), interface USB (Universal Serial Bus), e a interface ICSP (In-Circuit Serial Programming), a qual é usada para controlar o transceiver nRF24L01+.

A rede sem fio é o meio de troca de informações escolhidos para este sensor. Como dispositivo de comunicação por rádio frequência foi utilizado o transceiver nRF24L01+. Este dispositivo efetua a modulação GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying) na transmissão dos dados à uma taxa de no máximo 1Mbps. Possui um amplificador com antena integrada e a potência de transmissão pode ser configurada na faixa de -18 a 0dBm, possibilitando um alcance de 1000 metros (sem obstáculos).

A implementação prática dos nós sensores ocorreu inicialmente em protoboard (placa de testes) para a realização de ajustes no protocolo de comunicação e adequação dos componentes, e posteriormente o desenvolvimento de uma placa de circuito como pode ser analisado na Figura 3b.

Por determinado tempo foi trabalhado na programação e mais tarde em um protótipo com o hardware acima descrito, com a finalidade de provar a comunicação, para posteriormente fazer o monitoramento e então o envio de dados, sendo esta última a parte mais complicada do processo, devido à complexidade envolvida entre o hardware e o programa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os primeiros resultados expressivos desta pesquisa sugeriram com a implementação prática da metodologia desenvolvida para medição da RFA descrita anteriormente. Com esta metodologia foi possível estudar a melhor forma de medição, frente à disponibilidade de materiais para a montagem

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXIII Seminário de Iniciação Científica

e a disponibilidade dos instrumentos de medição. O objetivo desta montagem prática é comprovar a parte teórica desenvolvida para uma medição coerente de RFA.

A obtenção dos dados de RFA das células Solems é mostrada na Figura 4, onde os dados foram coletados com um multímetro Minipa ET2042C. Ao mesmo tempo em que estas medidas eram registradas, também foi utilizado para medição de RFA um equipamento medidor comercial Accupar LP80 que realiza exatamente a medição desejada. Com isto foi possível comparar as medições tanto pelo método desenvolvido com as células Solems quanto de um medidor comercial.

Figura 4 – Tabela comparativa Célula Solems e Accupar LP 80

Accupar LP80 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ de PAR)	Célula Solems (mv)	Célula Solems ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ de PAR)
1852	68.5	1781
1833	67.5	1755
1824	67.2	1747.2
1803	67	1742
1800	68.3	1775.8
1774	67	1742
1766	66.6	1731.6
1750	66	1716
1748	65.8	1710.8
1730	65	1690
1737	65.5	1703
1780	66.7	1734.2
1772	66.6	1731.6
1809	68	1768
1889	70.7	1838.2

Fonte: Do Autor

As medições foram realizadas em frente ao DCEEng, em situações climáticas sem a presença de nuvens e sempre a partir das 14 horas. Analisando os dados obtidos foi possível constatar que o erro médio entre a célula e o dispositivo de medição de PAR foi de apenas 2,61%. Isso mostra que o método adotado é eficaz, correspondendo a uma precisão de 97,39%.

Em seguida, conforme o cronograma de atividades do projeto, iniciou-se as atividades de estudo e desenvolvimento do sistema de comunicação. Nesta parte, a metodologia descrita anteriormente esta ainda em fase de testes iniciais e por tal motivo ainda não apresentou resultados coerentes com

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXIII Seminário de Iniciação Científica

o que se deseja. Atualmente o trabalho está focado na correção dos possíveis erros, podendo estes erros estar desde montagem do circuito eletrônico ou mesmo em nível de programação do PIC.

4. CONCLUSÕES

Os resultados da pesquisa são ainda, de certa forma, preliminares, porém bastante significativos pois vislumbra grandes perspectivas futuras. Estes resultados iniciais do primeiro ano já habilita ao projeto dar continuidade no desenvolvimento da metodologia de aquisição de dados de RFA de forma ágil, versátil e simples, trazendo grandes benefícios ao pesquisador encarregado pela análise futura dos dados adquiridos pelo sistema proposto. A correta medição e análise dos dados de RFA possibilitará uma tomada de decisão confiável e rápida no cultivo agrícola, podendo ser decisivo nos resultados obtidos na colheita de diversas culturas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa e a colaboração do Grupo de Automação Industrial e Controle da UNIJUÍ.

PALAVRA-CHAVE:

Radiação Fotossinteticamente Ativa; Módulo de Sensores Inteligentes; Rede de Comunicação wireless.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- MCCREE, Keith J. "The action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants". *Agricultural and Forest Meteorology*. 9:191-216, 1972.
- MCCREE, Keith J. (1981) "Photosynthetically active radiation" p. 41–55. O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. *Agrometeorologia fundamentos e aplicações*. Guaíba: Agropecuária. 478p, 2002.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 3ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.
- LIMA C. E, Aspectos fisiológicos de plantas jovens de *Cupania vernalis* camb. submetidas a diferentes níveis de sombreamento. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.30, n.1, p.33-41, 2006.
- LABOURET, Anne. "DéTECTEURS QUANTIQUES DE PAR ET DE RAYONNEMENT SOLAIRE: validité, conditions d'emploi, étalonnage". Solems S.A.
- LABOURET, Anne. "How to use Solems detection cells for lux measurement". Solems S.A.
- NASA- National Aeronautics and Space Administration Science Mission Directorate. "Visible Light" Mission: Science. 2010. Disponível em: <
http://missionscience.nasa.gov/ems/09_visiblelight.html > Acesso em: 30 de junho de 2015.



XXIII Seminário de Iniciação Científica
XX Jornada de Pesquisa
XVI Jornada de Extensão
V Mostra de Iniciação Científica Júnior
V Seminário de Inovação e Tecnologia

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXIII Seminário de Iniciação Científica