

UTILIZAÇÃO DE UM SENSOR LDR PARA TESTE E MEDICÃO DE SENSIBILIDADE RADIOATIVA EM APARELHO DE RAIOS X

E. R. S. Vasconcelos**, L. M. Brasil*, L. X. Cardoso*,
G. D. Amvame-Nze*, R. A. G. Souza**, E. R. S. Assunção*** e W. R. Texeira**

* Universidade de Brasília, Brasília, Brasil

**Faculdade JK, Brasília, Brasil

***Faculdade Apogeu, Brasília, Brasil

e-mail: assundf@hotmail.com

Resumo: A radiação X é um dos principais recursos utilizados na atualidade tanto na medicina como em outras áreas industriais, resultado dos avanços tecnológicos. Sua utilização em clínicas e hospitais gera riscos que podem causar sérios danos à saúde de pacientes e profissionais. Para realização dos procedimentos experimentais de coleta de dados, foi desenvolvido e montado um sensor para detecção de raios-X utilizando o LDR como sensor acoplado a um sistema de aquisição de dados. A montagem de um protótipo com esta configuração teve como objetivo, testar a sensibilidade do LDR como sensor quando irradiado por feixes de raios-X e, a partir desta interação, medir a voltagem no circuito relativo ao sinal elétrico liberado nesta interação. Os resultados indicam que, por meio das voltagens medidas, é possível utilizar o sensor de LDR como detector de raios-X e testá-lo em outros aparelhos de raios-X, nas mesmas condições das variáveis utilizadas para funcionamento do aparelho objeto de testes com o sensor desenvolvido neste trabalho. Esta pesquisa mostrou que o sensor de LDR é eficiente na detecção de raios-X e pode ser utilizada para determinação da Intensidade Relativa do feixe. A partir da análise estatística dos resultados e da significância das estimativas dos efeitos medidos pelo método do Teste de Wald, verificou-se que o método traduziu muito bem os valores do *p*-valor, considerando a significância da ordem de 5% e que o valor *p*-valor foi inferior a 0,001 e indicou que o Teste de Wald adotado foi eficiente para analisar a significância das estimativas dos efeitos medidos.

Palavras-chave: LDR, raios-X, sensor, intensidade.

Abstract: *X radiation is one of the main resources used nowadays in medicine as in other industrial areas as a result of technological advances. Its use in clinics and hospitals creates risks that can cause serious damage to the health of patients and professionals. For the accomplishment of the experimental procedures of data collection, a sensor was developed and mounted to detect X-rays using the LDR as sensor coupled to a data acquisition system. The assembly of a prototype with this configuration had as objective to test the sensitivity of the LDR as a sensor when irradiated by X-ray beams and, from this interaction, to measure the voltage in the circuit related to the electric signal released in this*

*interaction. The results indicate that, using the measured voltages, it is possible to use the LDR sensor as an X-ray detector and test it on other X-ray devices, under the same conditions as the variables used for the operation of the test device with the sensor developed in this work. This research showed that the LDR sensor is efficient in detecting X-rays and can be used to determine the relative intensity of the beam. From the statistical analysis of the results and the significance of the estimates of the effects measured by the Wald Test method, it was verified that the method translated very well the values of the *p*-value, considering the significance of the order of 5% and that the value *P*-value was less than 0.001 and indicated that the Wald Test adopted was efficient to analyze the significance of the estimates of the measured effects.*

Keywords: LDR, X-rays, sensor, intensity.

Introdução

A radiação X é um dos principais recursos utilizados na atualidade tanto na medicina como em outras áreas industriais graças aos avanços tecnológicos. Entretanto, sua utilização em clínicas e hospitais geram riscos que podem causar sérios danos à saúde de pacientes e profissionais. Tais riscos aumentam porque muitos profissionais descumprem as normas de radioproteção durante suas atuações profissionais [1].

Considerando os diferentes níveis de energia dos fôtons de raios-X emitidos pelos aparelhos durante a prática radiológica, faz-se necessário um estudo periódico quanto à correta manutenção dos aparelhos e das condições estruturais dos hospitais e clínicas [2].

Considerando os critérios e normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN, da Agência Internacional de Energia Atômica – IAEA e da Organização Internacional do Trabalho – OIT faz-se necessário um estudo mais amplo quanto ao uso desse recurso com o propósito de promover uma proteção adequada dos trabalhadores e de pessoas potencialmente expostas às radiações [3].

Dada a complexidade para realização da radiometria, fica evidente a necessidade de recomendações de diferentes grandezas para as diferentes técnicas de investigações por radiodiagnóstico [4]. Portanto, estudar os raios-X quanto aos resultados de sua interação com sensores e a correspondência da energia com a dose é necessário e importante para subsidiar tecnicamente a

Engenharia Clínica e a Física Médica com recursos que possam garantir uma oferta mais segura, eficiente e qualitativa dos serviços radiológicos à população.

Materiais e métodos

Para realização dos testes foi montado um sistema eletrônico simples de sensor para a detecção dos raios-X acoplado a um sistema de aquisição de dados.

Como sensor, foi utilizado um Resistor Dependente de Luz-LDR de 10mm de diâmetro x 8,5mm de largura x 2,1mm de altura, marca/modelo Senba/GL10539. O LDR foi escolhido pelo fato de ser um componente eletrônico passivo do tipo resistor variável e por ter uma resistência variante de acordo com a radiação que o atinge.

O LDR foi montado a circuito eletrônico de associação em série utilizando uma bateria de 9V, o LDR e um resistor de 1kΩ. Para medir o sinal/ a voltagem produzida pelo circuito durante a incidência de raios-X, foi ligado um multímetro em paralelo ao resistor por um fio paralelo de 1,5mm com comprimento de 5m, conforme Figura 1.

O sensor foi protegido contra luz ambiente por uma tampa de plástico revestida com papel cartão que foi colocada sobre o sensor LDR durante os testes. O sensor foi testado com a tampa e exposto à luz ambiente e à ação da luz de lâmpadas fluorescentes para testar a eficiência da tampa.

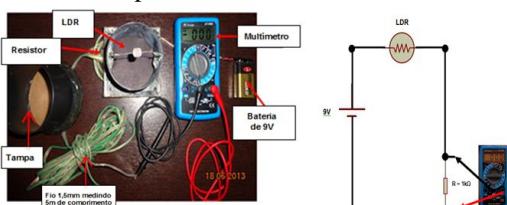


Figura 1: Foto do sensor apóos montagem e antes da realização dos testes.

Os testes foram realizados na Clínica de diagnósticos por Imagem – CLIDAE e o aparelho de raios-X utilizado nos testes do sensor foi da marca Ray Tec Equipamentos Radiológicos, modelo US 30/50, de 30/50 kW de potência e voltagem máxima de 150 kV, de fabricação brasileira.

O campo de irradiação foi definido para atingir o sensor LDR perpendicularmente com distância de 0,227m entre sensor e colimador. Entre aparelho - operador/observador foi de 5m, considerando que a distância entre o aparelho e a sala de operação era da ordem de 3,5m.

Durante os testes foram usados de kV, mAs e ms de 50, 60, 70 e 80 para kV e 320, 400 e 500 para mAs e ms. A sala não possuía janelas, não tinha entrada de luz solar ou de outra luz ambiente e todas as lâmpadas foram desligadas.

Para garantir a segurança tanto do operador como do pesquisador/observador o multímetro foi colocado na sala de operação do aparelho de raios-X e atrás do biombo. Os testes foram realizados em 4 dias onde cada dia foi usado para um kV escolhido sendo 30

testes/disparos de radiação/dia. Ou seja, no 1º dia foram realizados 10 disparos para kV de 50 com 320 de mAs/ms, 10 disparos para kV de 50 com 400 de mAs/ms e 10 disparos para kV de 50 com 500 de mAs/ms, seguindo no 2º, 3º e 4º dias de testes, num total de 120 disparos.

Os primeiros testes foram realizados visando e adequar a leitura do observador ao tempo de resposta e graduar o multímetro pelo número de casas decimais no leitor. Também foram analisadas as condições de reação do sensor ao tempo de resposta entre a irradiação e registro do sinal no multímetro considerando um intervalo de tempo muito curto entre o disparo, a leitura e o tempo de permanência do valor medido/registrado no multímetro.

Embora o intervalo de tempo de resposta e leitura tenha sido pequeno, foi possível fazer a leitura considerando uma casa decimal após a vírgula.

Resultados

Com os valores das voltagens medidas e observadas pelo multímetro, procedeu-se ao cálculo do valor líquido de voltagens medidas que corresponde ao cálculo da voltagem média medida pelo sensor. O cálculo foi realizado fazendo a média dos 10 valores medidos/observados para cada kV/mAs-ms.

A Figura 2 ilustra o gráfico construído com os valores de kV indexados no eixo X para mAs de 320 e os valores líquidos de voltagens medidas pelo detector indexados no eixo Y. Assim, pode-se ver o aumento de cada valor líquido à medida que se aumenta o valor do kV.

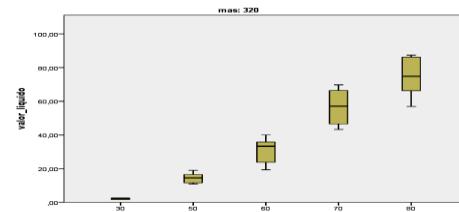


Figura 2: Valores de kV versus valores líquidos da voltagem medida para mAs de 320.

A Figura 3 ilustra o gráfico construído com os valores de kV indexados no eixo X para mAs de 400 e os valores líquidos de voltagens medidas pelo detector indexados no eixo Y. Assim, pode-se ver o aumento de cada valor à medida que aumenta o valor do kV.

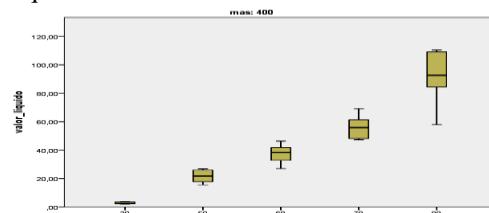


Figura 3: Valores de kV versus valores líquidos da voltagem medida para mAs de 400.

A Figura 4 ilustra o gráfico construído com os valores de kV indexados no eixo X para mAs de 500 e os valores líquidos de voltagens medidas pelo detector indexados no

eixo Y. Assim, pode-se ver o aumento de cada valor à medida que aumenta o valor do kV.

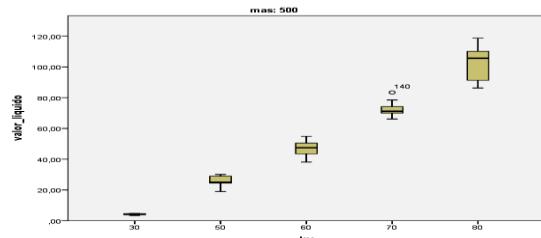


Figura 4: Valores de kV versus valores líquidos da voltagem medida para mAs de 500.

Para analisar o efeito do kV e mAs na medição foi utilizada a regressão para verificar esse efeito. Isso justifica a necessidade do uso do modelo de regressão linear para análise dos resultados e análise de beta, *p*-valor e ic-95% de beta, pois, sendo a medição uma variável contínua, o modelo de regressão adequado é o de regressão linear.

Considerando os valores relativos à distância aparelho-sensor, kV, mAs, ms e voltagem média medida pelo sensor, calculou-se os valores da distância ao quadrado (D^2), a intensidade do feixe ($kV \cdot i \cdot t$) e a intensidade relativa (IR), onde *i* corresponde à mAs e *t* corresponde a ms.

Para determinar a intensidade relativa (IR) foi utilizada a relação $IR = \frac{kV \cdot i \cdot t}{D^2}$ [5] [6]. As Figuras 5 e 6 ilustram os gráficos da curva padrão da taxa de variação de IR em relação à kV. A Figura 5 ilustra o gráfico para a relação kV versus IR para *i* e *t* iguais a 0,32.

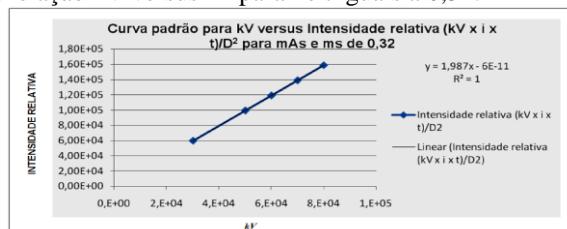


Figura 5: Gráfico para a relação kV versus IR para *i* e *t* iguais a 0,32.

De acordo com o gráfico ilustrado pela Figura 5, é possível verificar para um R^2 igual a 1 que de fato, à medida que a kV aumenta, a intensidade relativa também aumenta proporcionalmente, mostrando que a kV é uma variável importante na determinação da energia de um feixe de raios-X. Como R^2 no gráfico é 1, isto significa que 100% da variável dependente da voltagem líquida consegue ser explicada pelo fator regressor presente no modelo. A Figura 6 ilustra o gráfico para a relação kV versus IR para *i* e *t* iguais a 0,40.

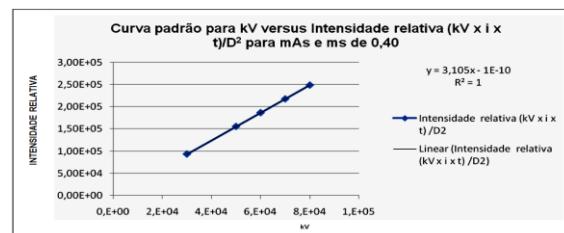


Figura 6: Gráfico para a relação kV versus IR para *i* e *t* iguais a 0,40.

Pela Figura 6, é possível também verificar pelo R^2 igual a 1, à medida que a kV aumenta, a intensidade relativa também aumenta proporcionalmente embora a corrente e o tempo também tenham aumentado de 0,4A e 0,4s, o que mostra que a kV é uma variável importante na determinação da energia de um feixe de raios-X.

Pelos gráficos é possível observar que, à medida que a kV aplicada no aparelho de raios-X aumenta, a IR também aumenta proporcionalmente como é possível verificar para R^2 igual a 1, o que demonstra uma relação entre a intensidade do feixe de radiação sendo proporcional direta. Ou seja, com R^2 igual a 1, conclui-se que a relação entre kV e IR é linear e diretamente proporcional, de modo que os valores encontrados estão satisfatórios.

Com os valores de IR (W/m^2) expressando as potências dos feixes de raios-X que atingem a área superficial do sensor de LDR para todos os kV, mAs e ms utilizados, serão determinados os fatores elétricos no sensor em relação ao aparelho testado pela razão V/IR para mAs de 0,32, 0,40 e 0,50 respectivamente.

A Figura 7 ilustra a relação entre a voltagem média versus IR para um mAs de 0,32.



Figura 7: Gráfico da relação voltagem média *V* versus IR para mAs de 0,32.

Como o R^2 no gráfico da Figura 7 é 0,958, isto significa que 95,8% da variável dependente da voltagem líquida consegue ser explicado pelo fator IR, o que indica um excelente resultado na medição da voltagem pelo sensor e detecção de raios-X. A Figura 8 ilustra o gráfico da relação entre a voltagem média versus IR para um mAs de 0,40.

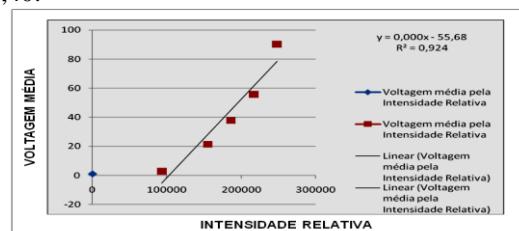


Figura 8: Gráfico da relação voltagem média V versus IR para mAs de 0,40.

Como o R^2 no gráfico da Figura 8 é de 0,924, isto significa que 92,4% da variável dependente da voltagem líquida consegue ser explicado pelo fator IR, o que indica um excelente resultado na medição da voltagem pelo sensor e detecção de raios-X em relação à intensidade relativa do feixe de raios-X, assim como mostrado na Figura 7 e consolidando os resultados obtidos.

Discussão

Os resultados indicam que, por meio das voltagens medidas, é possível utilizar o sensor de LDR como detector de raios-X e testá-lo em outros aparelhos de raios-X, nas mesmas condições das variáveis utilizadas para funcionamento do aparelho objeto de testes com o sensor desenvolvido neste trabalho.

O R^2 expressou o quanto as variáveis estão explicando a variável resposta (valor líquido da voltagem medida pelo sensor), considerando que esse valor varia de 0 a 1, sendo que, quanto mais próximo de 1, mais as variáveis independentes estão explicando a resposta obtida.

Todos os resultados foram acima de 90%, mostrando que as variáveis inseridas estão explicando muito bem o valor líquido, sendo que a título de análises descritivas:

- As variáveis mAs e kV estão associadas positivamente com a medição;
- A kV tem influência maior que a mAs no valor líquido das voltagens medidas e determina a intensidade relativa do feixe de raios-X o que caracteriza que de fato, quanto maior o valor da kV, maior a intensidade relativa (energética) do feixe de raios-X;
- Em média o kV aumenta em 1,71 o valor líquido da voltagem medida;
- À medida que se aumentam o kV e o mAs, o valor da influência do kV também aumenta.

A significância das estimativas dos efeitos medida a partir do Teste de Wald traduziu muito bem os valores do p -valor, considerando a significância de 5%. Verificou-se pelos resultados encontrados que para o p -valor foi inferior a 0,001.

A partir da análise estatística dos resultados e da significância das estimativas dos efeitos medida pelo método do Teste de Wald, verificou-se que o método traduziu muito bem os valores do p -valor, considerando a significância da ordem de 5% e que o valor p -valor foi inferior a 0,001 e indicou que o Teste de Wald adotado foi eficiente para analisar a significância das estimativas dos efeitos medida.

Os resultados encontrados nesta pesquisa provam de modo eficaz, a viabilidade do LDR como sensor de raios-X e assim, estabelece uma unidade padrão para verificação da eficiência e calibragem de aparelhos de raios-X, por meio da voltagem medida pelo sensor quando irradiado por um feixe de raios-X.

Conclusão

Esta pesquisa mostrou que o sensor de LDR é eficiente para a detecção de raios-X na relação para determinação da Intensidade Relativa do feixe.

A partir do teste de funcionalidade do sensor e quanto ao teste A partir da análise estatística dos resultados e da significância das estimativas dos efeitos medida pelo método do Teste de Wald, verificou-se que o método traduziu muito bem os valores do p -valor, considerando a significância da ordem de 5% e que o valor p -valor foi inferior a 0,001 e indicou que o Teste de Wald adotado foi eficiente para analisar a significância das estimativas dos efeitos medida.

A sensibilidade radioativa do LDR como possível sensor para detecção de raios-X, pode-se concluir que o mesmo funcionou perfeitamente, respondendo muito bem à incidência dos fótons de raios-X utilizados, podendo compor futuramente um equipamento para medição da intensidade ou da energia dos raios-X emitidos por aparelhos hospitalares e principalmente por ser o detector criado um equipamento de baixíssimo custo e de fácil utilização.

Deste modo, será possível verificar se a calibração dos aparelhos utilizados e níveis de energia (em comparação com as taxas de dose regulamentadas) correspondem aos valores máximos permitidos e não colocando em risco os pacientes e profissionais.

O detector construído apresentou eficácia durante a realização dos testes de funcionalidade e sensibilidade, mostrando-se um recurso eletrônico importante para análise da funcionalidade radioativa de aparelhos de raios-X, pois, através desses resultados, será possível estabelecer valores padrões do nível de energia emitido para determinados valores de kV, mA e mAs utilizados pelos profissionais durante a produção de radiografias.

O sensor de LDR apresenta-se como excelente recurso para a realização de testes de calibração e de medidas do nível de energia da radiação para diferentes aparelhos de raios-X e pode ser uma ferramenta importante para melhor capacitar os profissionais da área, da engenharia clínica e da radioproteção sobre a padronização de funcionalidade dos aparelhos, o cumprimento das normas e testes de controle de qualidade dos aparelhos.

Referências

- [1] TUBINO M. QUEIROZ CAR. Flow injection visible diffuse reflectance quantitative analysis of nickel. *Analytica Chimica Acta*, v. 600, p. 199–204, 2007.
- [2] CNEN-NN-3.01:2011: Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica, 2011.
- [3] NAVARRO MVT. Risco, radiodiagnóstico e vigilância sanitária [online]. Salvador: EDUFBA, 2009, 166 p. ISBN 978-85-232-0620-8.
- [4] OKUNO E. YOSHIMURA EM. Física das radiações, Oficina de Textos, São Paulo, 2010.
- [5] BUSHONG, S. C., Ciência radiológica para tecnólogos, 9^a Ed, Elsevier Brasil, 2010.
- [6] BUSHONG, S. C., Workbook and Laboratory Manual for Radiologic Science for Technologists: Physics, Biology and Protection., 9^a ed, FACR FACMP, 2008.