



## DESENVOLVIMENTO DE *HARDWARE* DE CONTROLE E VALIDAÇÃO PARA INCUBADORA NEONATAL

**José Itton de Oliveira Filho** – itlon104@hotmail.com

Universidade Federal do Piauí, Departamento de Engenharia Elétrica  
Campus Universitário Ministro Petrônio Portella - Bairro Ininga  
64049-550 – Teresina – Piauí

**Otacílio da Mota Almeida** – otacilio@ufpi.edu.br.

Universidade Federal do Piauí, Departamento de Engenharia Elétrica  
Campus Universitário Ministro Petrônio Portella - Bairro Ininga  
64049-550 – Teresina – Piauí

**José Medeiros de Araújo Júnior** – jmjunior@ufpi.edu.br

Universidade Federal do Piauí, Departamento de Engenharia Elétrica  
Campus Universitário Ministro Petrônio Portella - Bairro Ininga  
64049-550 – Teresina – Piauí

**Resumo:** *Este documento apresenta o desenvolvimento de um hardware de controle e validação genérico para incubadoras neonatal. O circuito desenvolvido está instalado na incubadora do Laboratório de Controle do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Piauí – UFPI, e constitui uma importante planta para desenvolvimento de técnicas de controles e processamento de dados para os cursos de graduação e mestrado, focando as disciplinas das áreas de controle, instrumentação e automação. O protótipo criado, leva em consideração o disposto pela norma IEC 60601-2-19 sobre os requisitos mínimos para o hardware de certificação de segurança e controle do equipamento. Este projeto apresenta como resultado final, dois circuitos, sendo um responsável pelo processamento e aquisição e o outro o drive de controle da carga de aquecimento. Adicionalmente, este trabalho contém fotos, esquemáticos e gráficos referentes ao sistema criado.*

**Palavras-chave:** *Aquisição de dados, Controle, Hardware, Incubadora neonatal.*

### 1 INTRODUÇÃO

Incubadores neonatais são equipamentos médicos hospitalares utilizados no tratamento e acompanhamento de recém-nascidos com problemas de saúde apresentados ao nascer ou pouco tempo depois do nascimento, que possuem limitada capacidade de reagir a situações adversas (BARBOSA & OLIVEIRA, 2002; SILVADO, 1993). Por causa da sensibilidade desses neonatos, esses equipamentos devem ter um rigoroso controle e atender aos requisitos particulares para segurança básica e desempenho essencial estabelecidos pela norma técnica NBR IEC 60601-2-19 (ABNT, 2014).

Por sua contribuição para a manutenção da vida dos neonatos (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2002), o desenvolvimento de técnicas de controles mais robustos e com melhor desempenho para incubadoras tem sido objeto de estudo e um importante campo para



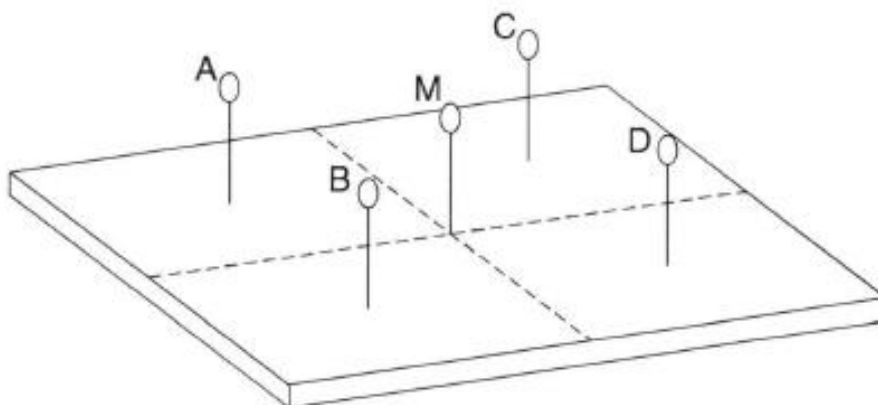
melhoria dos equipamentos médicos brasileiros. Alguns métodos desenvolvidos em pesquisas apresentaram melhor desempenho que os sistemas de fábrica das incubadoras comerciais, como é o caso de técnicas utilizando controles PI multivariável (NETO et al., 2010), preditivo do tipo GPC (Controle Preditivo Generalizado) (ALBUQUERQUE, 2012), modelos ARMAX (SANTOS et al., 2010), NARMA (ZERMANI et al., 2011), rede neural inferencial (DE ARAÚJO, 2013), multicanal híbrido ANC utilizando algoritmo de quadrado mínimo filtrado (FXLMS) (BEEMANPALLY et al., 2010; LIU et al. 2009, ) e multivariável PID (PEREIRA e TORRICO, 2015).

Com a finalidade de criar um *hardware* base para pesquisas de desenvolvimento de técnicas de controle para incubadoras, foi desenvolvido um conjunto de circuitos de controle, *drive* e sensoriamento integrados à uma incubadora comercial no Laboratório de Controle do Curso de Engenharia Elétrica da UFPI, em Teresina – PI. O circuito de sensoriamento desenvolvido possui a capacidade de aferir os valores da temperatura da incubadora em cinco pontos diferentes, juntamente com a umidade relativa de dentro da cúpula do equipamento e, posteriormente, enviar os dados para o computador onde os dados são apresentados em forma de gráficos em uma interface criada no programa Matlab. O circuito de controle e drive consistem num sistema de aquecimento controlável, cujo controle é feito diretamente em linguagem de programação Matlab.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O protótipo do *hardware* de controle e validação foi concebido e construído por alunos de graduação da Universidade Federal do Piauí. Para que seja possível a validação do controle de uma incubadora, o *hardware* necessita satisfazer as determinações da norma NBR IEC 60601-2-19. Esta norma dispõe que a exatidão dos sensores de umidade e temperatura sejam, respectivamente, 10% e 0,5°C para incubadoras controladas pelo ar. Ela também normatiza a forma que esses sensores devem ser dispostos, como é mostrado na Figura 1, em que os sensores de A a D e M estão em paralelo a uma distância de 10cm de altura do colchão, sendo: M o sensor da temperatura média incubadora; A, B, C e D os sensores da temperatura do ar.

Figura 1 – Localização dos sensores de temperatura e umidade relativa (NBR IEC 60601-2-19, 2014).

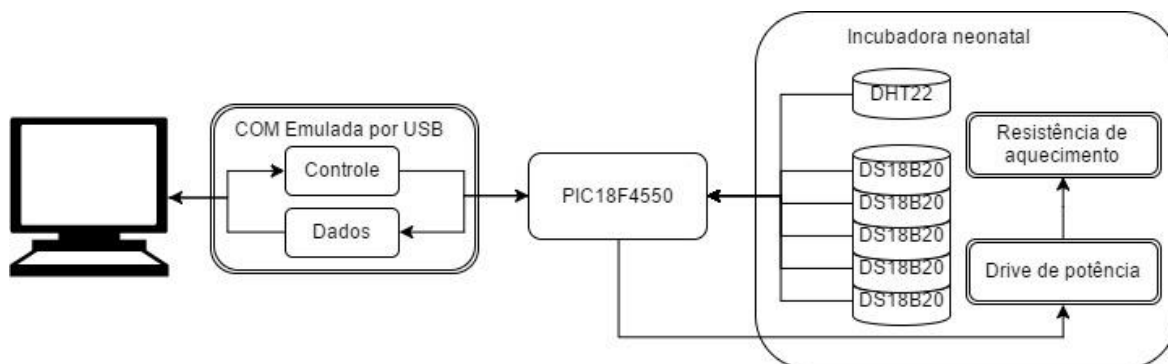


O protótipo concebido utiliza 5 sensores de temperatura e um sensor de umidade para obtenção dos dados da incubadora. Os dados provenientes desses sensores são processados pelo microcontrolador PIC18F4550 e enviados para o computador através do protocolo de



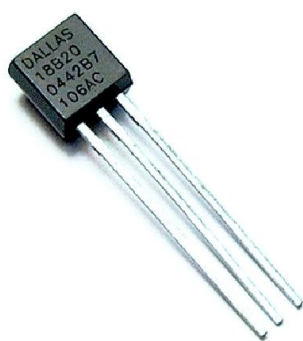
comunicação RS232 emulado através da porta USB. No computador, o protótipo é reconhecido como uma porta serial e, através de programas feitos no *software* Matlab, é possível controlar uma resistência de aquecimento por um *drive* de potência que possui um triac como elemento principal. A Figura 2 apresenta o diagrama de blocos do sistema construído.

Figura 2 – Diagrama de blocos do sistema do *hardware* de controle e validação construído.

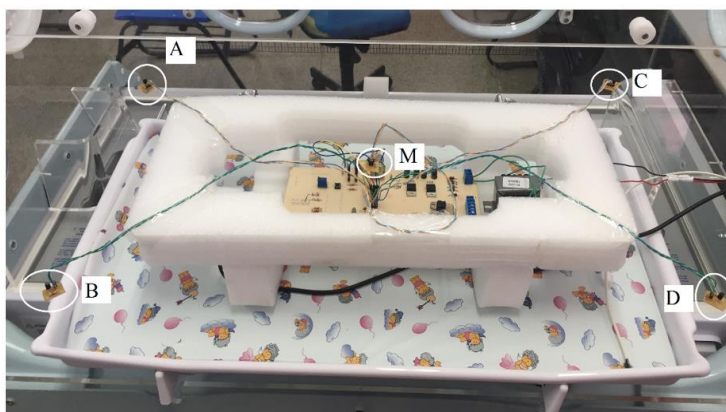


O sensor de temperatura escolhido para este projeto foi o DS18B20. Ele é um termômetro digital para temperaturas entre  $-55$  e  $125^{\circ}\text{C}$ , com uma precisão de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . Para aferir a umidade, foi selecionado o DHT22. Este sensor consegue medir a umidade do ar relativa de 0 a 100%, e possui precisão de  $\pm 2\%$ . Ambos os sensores utilizam sistema 1-Wire/Single-Bus para comunicação, em que os sensores se comunicam como escravos e o microcontrolador como mestre. Na Figura 3 é apresentado o sensor de temperatura utilizado e suas posições dentro da cúpula.

Figura 3 – (a) Sensor DS18B20. (b) posição do sensor dentro da cúpula da incubadora.



(a)

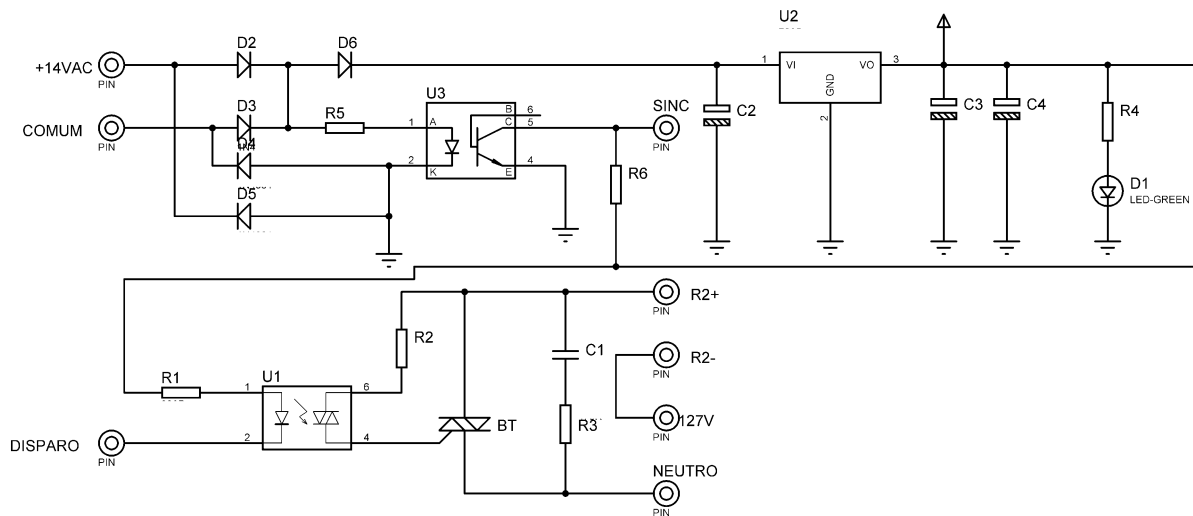


(b)

O atuador escolhido para o processo de aquecimento foi a própria resistência de aquecimento de fábrica da incubadora adquirida pela UFPI para as pesquisas. O circuito de *drive* de potência bem como seu sincronismo é dado na Figura 4.



Figura 4 – Circuito *drive* de potência

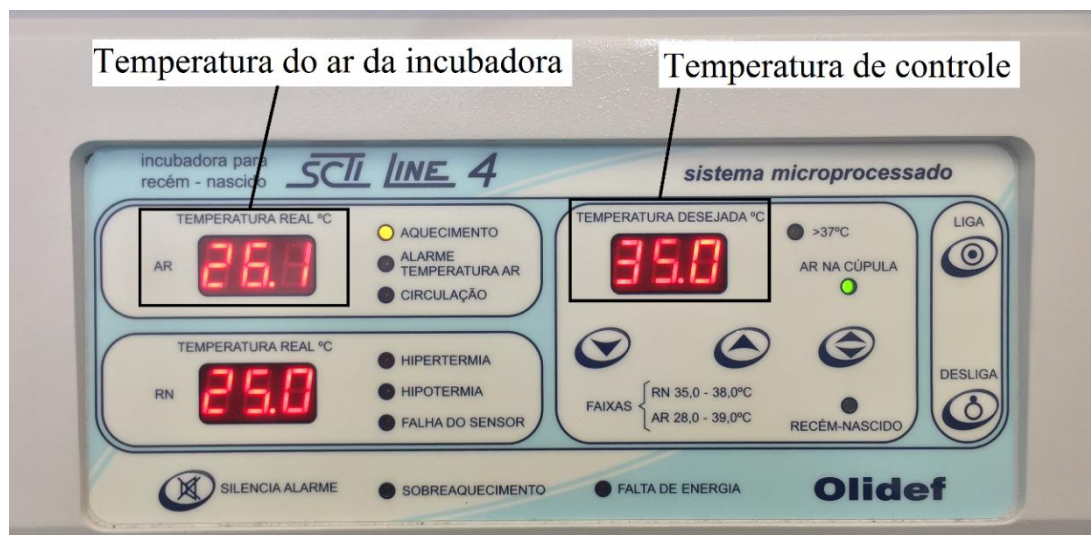


### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes do *hardware* construído foram executados utilizando o controle de fábrica da incubadora. Seu acionamento foi feito com temperatura ambiente a 26,1°C. Esta temperatura foi adotada por se enquadrar dentro da faixa de temperatura ambiente para ensaios com incubadoras disposta pela norma.

O sinal de controle adotado foi de 35°C, sendo esse sinal ajustado utilizando a própria interface padrão do equipamento, como é mostrado na Figura 5.

Figura 5 – Interface de fábrica da incubadora com sinal de controle ajustado para 35°C e temperatura inicial do sistema a 26,1°C.



Os circuitos construídos nesse projeto são divididos em dois, o circuito de coleta de dados e o *drive* do aquecedor. Na Figura 6 e 7 é apresentado o protótipo de controle



construído e sua localização na incubadora e o *drive* de potência construído para uma resistência de aquecimento de 255W a 127V.

Figura 6 – Circuito de controle e validação construído.

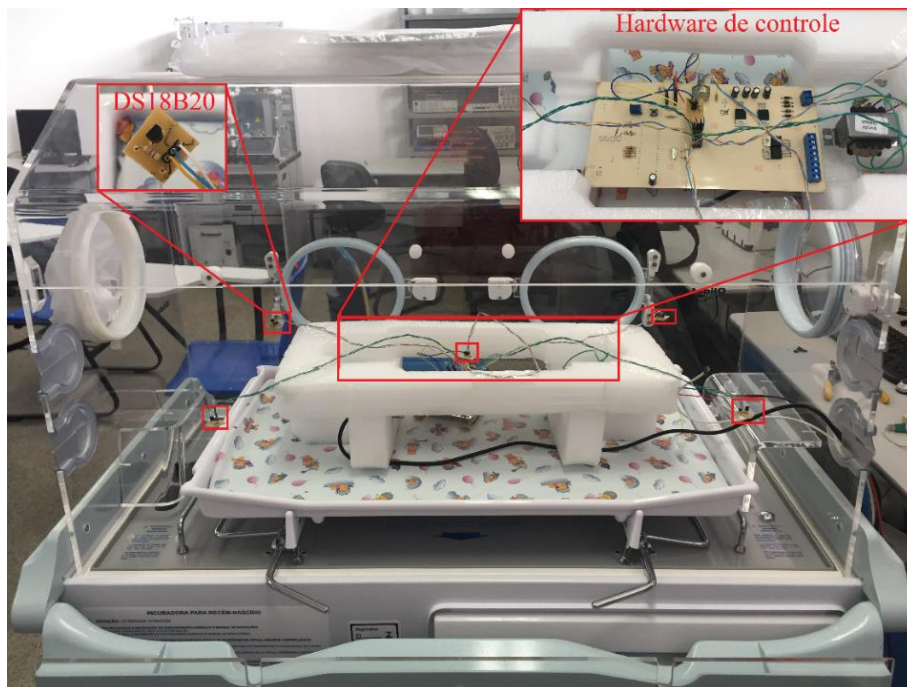
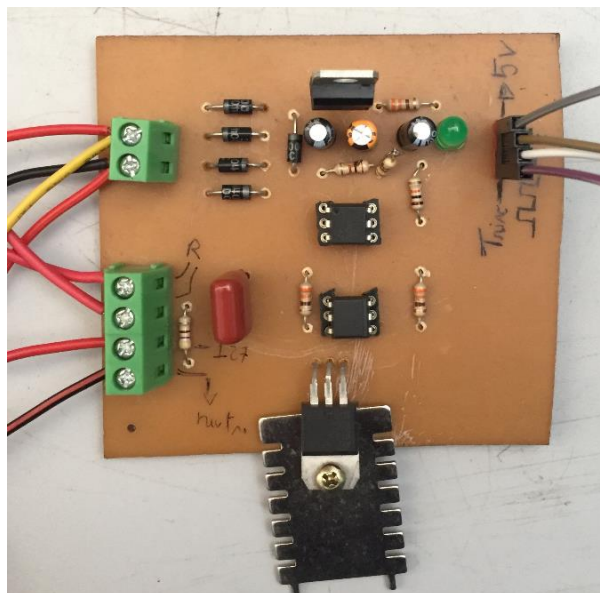


Figura 7 – *Drive* de potência e sincronismo.

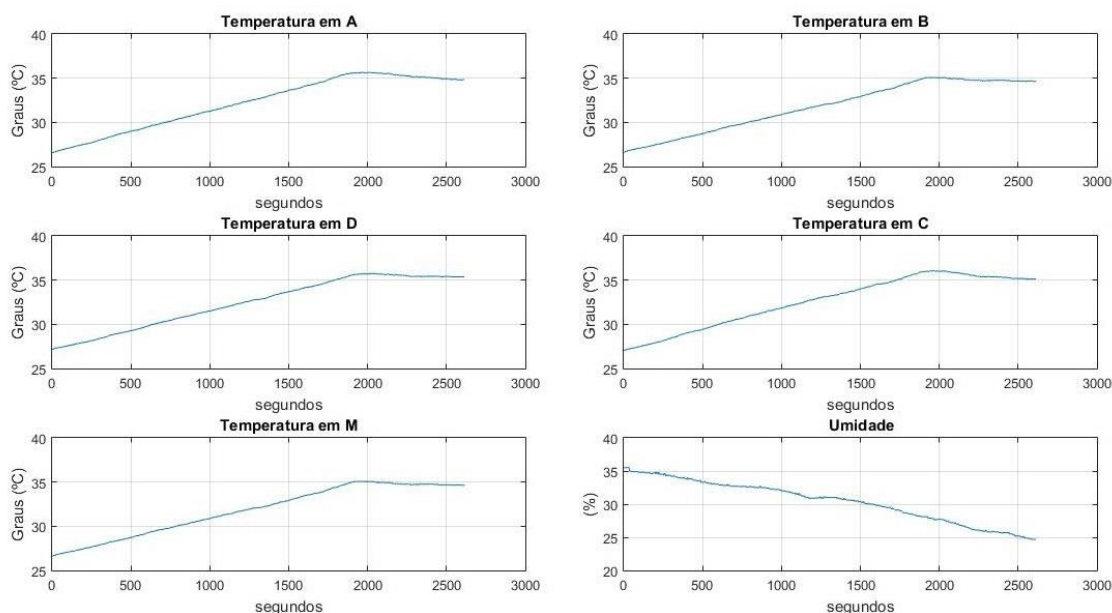


O protótipo criado aferiu os dados de temperatura e umidade durante todo o tempo de aquecimento até a estabilidade da temperatura. Este período correspondeu a 43 minutos e 33 segundos, sendo os dados enviados a cada segundo para o computador através da porta serial e plotados em tempo real por um programa criado em Matlab.

A Figura 8 apresenta os gráficos de temperatura e umidade proveniente da incubadora neonatal. Pelo gráfico é possível notar o *overshoot* do sistema, o tempo de estabilidade e de assentamento, bem como a relação direta entre temperatura e umidade.



Figura 8 – Gráfico de temperatura da incubadora.



#### 4 CONCLUSÃO

Este trabalho propôs um *hardware* que possibilita o acompanhamento em tempo real da temperatura e umidade, bem como o controle da temperatura para testes e desenvolvimento de técnicas para controlar incubadoras neonatais. Tal sistema leva em conta o disposto pela norma IEC sobre o *hardware* para este tipo de circuito. A comunicação com o *software* Matlab, implementado através do USB emulando uma entrada serial COM, permite a comunicação efetiva entre o sistema proposto e o programa de controle.

O protótipo final deste trabalho irá compor uma importante planta de controle para o curso de graduação e mestrado do curso de engenharia elétrica da UFPI, sendo este, o primeiro passo para criação de pesquisas para o avanço e melhoria de equipamentos médicos hospitalares.

#### *Agradecimentos*

Os autores agradecem a Fapepi pelo financiamento do projeto.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, A. A. M. de. Sistema de controle de uma incubadora neonatal segundo a norma NBR IEC 60.601-2/19: aspectos de avaliação, identificação dinâmica e novas propostas. 2012. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT). 2014. Equipamento Eletromédico – Parte 2: Prescrições particulares para segurança de incubadoras de recém-nascidos, NBR IEC 60601-2-19. Rio de Janeiro.



BARBOSA, A.C.; OLIVEIRA, I.C.S. O advento das incubadoras no exterior e no Brasil: um ensaio histórico. *Pediatria Atual*, Rio de Janeiro, v.15, n.6, Jun, 2002.

BEEMANPALLY K., POTTIM K. R. and KUO S. M., "Multi-channel hybrid active noise control system for infant incubators," 2010 IEEE International Conference on Electro/Information Technology, Normal, IL, 2010, pp. 1-8. doi: 10.1109/EIT.2010.5612171

DE ARAÚJO, J. M.; JOSÉ ; ALBUQUERQUE, A. A. M; ALMEIDA O. M. ; ARAÚJO, F. U. Assessment and Certification of Neonatal Incubator Sensors through an Inferential Neural Network. *Sensors (Basel)*, v. 13, p. 15613-15632, 2013.

LIU L., S. GUJJULA and KUO S. M., "Multi-channel real time active noise control system for infant incubators," 2009 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Minneapolis, MN, 2009, pp. 935-938. doi: 10.1109/IEMBS.2009.5333780

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Manual do curso de humanização do recém – nascido de baixo peso. Método Canguru. Série A: Normas e Manuais Técnicos Nº 145, ISBN 85- 334-0489-1, 1.ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2002.

NETO J. de O. B., G. M. Barçante, M. U. Cavalcante, O. da M. Almeida and B. C. Torrico, "PI multivariable control applied to temperature and humidity neonate incubators," 2010 9th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications - INDUSCON 2010, Sao Paulo, 2010, pp. 1-6. doi: 10.1109/INDUSCON.2010.5739866

PEREIRA R. D. O. and TORRICO B. C., "New automatic tuning of multivariable PID controller applied to a neonatal incubator," 2015 8th International Conference on Biomedical Engineering and Informatics (BMEI), Shenyang, 2015, pp. 588-593. doi: 10.1109/BMEI.2015.7401572

SANTOS, N. M.; BRAGA, A. P. S.; ALMEIDA, O. M. ; COSTA FILHO, F. L. . Estratégia para o acompanhamento on-line da satisfação dos requisitos da NBR IEC 60601-2-19 para minimização dos riscos em uma incubadora neonatal. In: XVIII Congresso Brasileiro de Automática - CBA 2010, 2010, Bonito - MT. v. 1. p. 1-6.

SILVADO, J. Incubadoras. *Revista Médica de São Paulo / Jornal Prático de Medicina, Cirurgia e Higiene*, São Paulo, v.6, n.7, p 1-10, abr. 1993.

ZERMANI M. A., FEKI E. and MAMI A., "Application of Genetic Algorithms in identification and control of a new system humidification inside a newborn incubator," 2011 International Conference on Communications, Computing and Control Applications (CCCA), Hammamet, 2011, pp. 1-6. doi: 10.1109/CCCA.2011.6031225



## DEVELOPMENT OF CONTROL AND VALIDATION HARDWARE FOR NEONATAL INCUBATOR

**Abstract:** *This paper presents the development of generic control and validation hardware for neonatal incubators. The developed circuit is installed in the incubator located in the Electrical Engineering Course's Laboratory of Control of the Federal University of Piauí - UFPI, and constitutes an important plant for the development of control and data processing techniques for undergraduate and masters courses, focusing on the disciplines of Control, Instrumentation and Automation. The prototype created takes into account the requests of the IEC 60601-2-19 standard about the minimum requirements for hardware safety certification and equipment control for incubators. This project presents as result, two circuits, one being responsible for the processing and acquisition and the other the control drive of the heating load. In addition, this work contains photos, schematics and graphics related to the system created.*

**Key-words:** *Data acquisition, Control, Hardware, neonatal incubator.*

Organização



Promoção

