

# Desenvolvimento de *hardware* para a medição de parâmetros de temperatura e umidade em uma incubadora neonatal

José Ilton de Oliveira Filho <sup>[1]</sup>, Otacílio da Mota Almeida <sup>[2]</sup>, José Medeiros de Araújo Júnior <sup>[3]</sup>

[1] ilton104@hotmail.com. [2] otacilio@ufpi.edu.br. [3] jmjuniior@ufpi.edu.br. Universidade Federal do Piauí.

## RESUMO

Este artigo apresenta o desenvolvimento de um *hardware* de controle e de validação para uma incubadora 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 um importante sistema dinâmico para o desenvolvimento futuro de técnicas de controle e de processamento da informação 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 a aquisição de dados e o outro, o driver de controle da carga de aquecimento. Adicionalmente, este trabalho contém fotos, esquemáticos e gráficos referentes ao sistema criado.

**Palavras-chave:** Aquisição de dados. Incubadora neonatal. Medição de temperatura. Monitoramento de variáveis. NBR IEC-60.601-2-19.

## ABSTRACT

*This paper presents the development of a 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 dynamic system 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 data 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.*

**Keywords:** *Data acquisition. Neonatal incubator. Temperature measurement. Monitoring of variables. NBR IEC-60.601-2-19.*

## 1 Introdução

As incubadoras 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 (SILVADO, 1905; ALBUQUERQUE, 2012). Por causa da sensibilidade dos 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 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014).

Por sua contribuição para a manutenção da vida dos neonatos (BRASIL, 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 de controle, que foram desenvolvidos em universidades brasileiras, apresentaram melhores desempenho que os sistemas comerciais de fábrica das incubadoras, como é o caso de técnicas utilizando controles PI multivariável (BRITO NETO *et al.*, 2010), preditivo do tipo GPC (*Generalized Predictive Controller*, ou Controle Preditivo Generalizado) (ALBUQUERQUE, 2012), modelos ARMAX (SANTOS *et al.*, 2010), NARMA (ZERMANI; FEKI; MAMI, 2011), rede neural inferencial (ARAÚJO JUNIOR, 2013), multicanal híbrido ANC utilizando algoritmo dos mínimos quadrados filtrado (FXLMS - *Filtered-X Least Mean Square*) (LIU; GUJJULA; KUO, 2009; BEEMANPALLY; POTTIM; KUO, 2010) e multivariável PID (PEREIRA; TORRICO, 2015).

Com a finalidade de criar um *hardware* base para as pesquisas de desenvolvimento de técnicas de sistemas de controle para incubadoras, foi desenvolvido um conjunto de circuitos de controle, *drivers* 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 medir 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 for-

ma de gráficos em uma interface criada no programa Matlab®.

A partir dos dados provenientes desse circuito de sensoriamento, poderão ser desenvolvidos controles que enviarão comandos para o *drive* de potência, também desenvolvido nesse trabalho. Esses dois circuitos, compõe o *hardware* base que possibilitará um sistema de aquecimento controlável, cujo controle poderá ser realizado diretamente em linguagem de programação Matlab®.

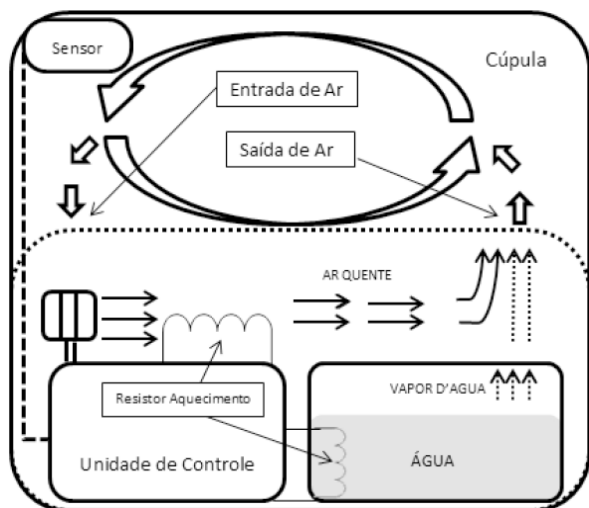
## 2 Fundamentação teórica

Um ambiente termo neutro é caracterizado como um ambiente isolado, que possui uma faixa de temperatura na qual o recém-nascido tem uma taxa metabólica extremamente baixa e apresenta uma temperatura corpórea normal, podendo facilmente mantê-la constante (AVERY, 2005). Esse tipo de ambiente é de suma importância para o recém-nascido prematuro, pois contribui para um desenvolvimento significativamente mais rápido da massa, dos comprimentos corporais, na superação de intercorrências clínicas esperadas e para uma evolução mais estável de saúde (WEBSTER, 2009).

### 2.1 Incubadoras neonatais

As incubadoras neonatais têm como principal função prover um ambiente termo neutro para recém nascidos prematuros ou com graves problemas de saúde (OLIVEIRA FILHO; ALMEIDA, 2017). Esse equipamento médico provê esse ambiente por meio do controle da temperatura e da umidade interna do compartimento reservado ao neonato. Para realizar o controle dessas variáveis ambientais, as incubadoras possuem sensores de temperatura e de umidade, atuadores, geralmente, na forma de resistor de aquecimento e resistor de vaporização ou nebulizadores, além de alguma interface de operação. A Figura 1 ilustra o funcionamento de uma incubadora neonatal.

**Figura 1** - Visão geral do funcionamento de uma incubadora comercial.



Fonte: Albuquerque (2012).

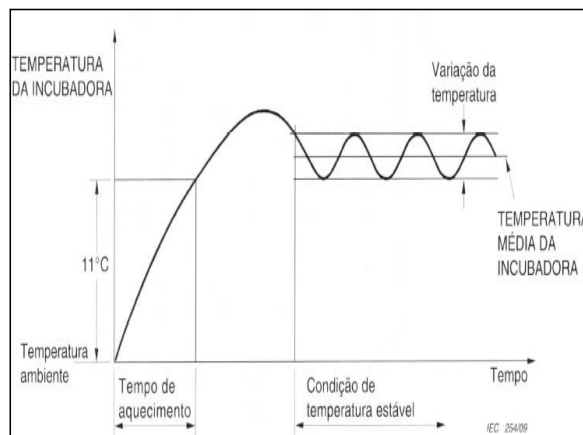
Em geral, as paredes e a cúpula das incubadoras são compostas de camadas de acrílico para realizar a isolamento térmico entre o ambiente interno e o meio ambiente, além de permitir a observação do recém-nascido à distância, devido a essa transparência. Elas também possuem portinholas para permitir o acesso manual aos bebês, evitando a abertura da cúpula para reduzir o estresse ambiental. O colchão da incubadora é confeccionado com isolante térmico (ARONE, 1995).

## 2.2 Sistema de controle e validação de incubadoras neonatais

No Brasil, as incubadoras neonatais devem ser certificadas, indicando que seu uso é seguro e ela obedece as normas vigentes. Essa certificação é realizada conforme a valores de temperatura, umidade, velocidade do fluxo de ar e nível de ruído sonoro definidos pela norma NBR IEC 60601-2/19: "Requerimentos particulares para a segurança de incubadoras neonatais" (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014).

Para que o controle de temperatura de uma incubadora seja considerado satisfatório/validado, após ajuste da temperatura de referência, o excesso da temperatura da incubadora (*overshoot*) não deve ser maior que 2°C e sua temperatura de aquecimento ser menor que 15 minutos. A Figura 2 ilustra o comportamento da temperatura média nas incubadoras.

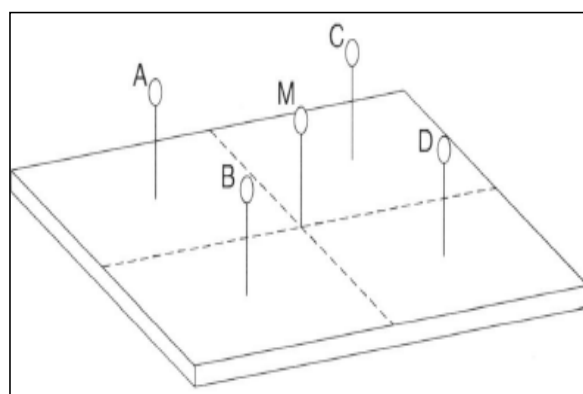
**Figura 2** - Comportamento da temperatura média nas incubadoras.



Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014).

Essa norma também dispõe que, para o sistema de medição, a exatidão dos sensores de umidade e temperatura sejam, respectivamente,  $\pm 10\%$  e  $\pm 0,5^\circ\text{C}$  para incubadoras controladas pelo ar. Ela também normatiza a forma que esses sensores devem ser dispostos, como é ilustrado na Figura 3, em que os sensores de A a D e M estão em paralelo a uma distância de 10 cm de altura do colchão, sendo: M, o sensor da temperatura média da incubadora; A, B, C e D, os sensores da temperatura do ar.

**Figura 3** - Localização dos sensores de temperatura e umidade relativa.



Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014).

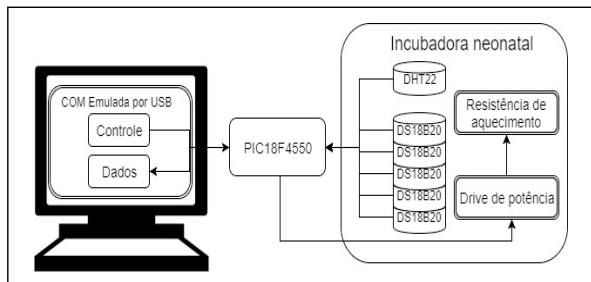
## 3 Materiais e métodos

O protótipo do *hardware* de controle para validação de incubadoras neonatais foi concebido e construído por alunos de graduação da Universidade Federal do Piauí. Ele possui a capacidade de controlar

a temperatura, por meio de uma resistência de aquecimento, porém, neste trabalho, não foi desenvolvido nenhuma técnica de controle, sendo os testes realizados com o controle de fábrica proveniente da própria incubadora neonatal.

O protótipo concebido utiliza cinco 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 por meio do protocolo de comunicação RS232 emulado na porta USB. No computador, o protótipo é reconhecido como uma porta serial e, por meio de programas desenvolvidos em Matlab®, é possível controlar uma resistência de aquecimento por um *driver* de potência que possui um TRIAC como elemento principal. Na Figura 4 é ilustrado o diagrama de blocos do sistema construído.

Figura 4 – Diagrama de blocos sistema construído.

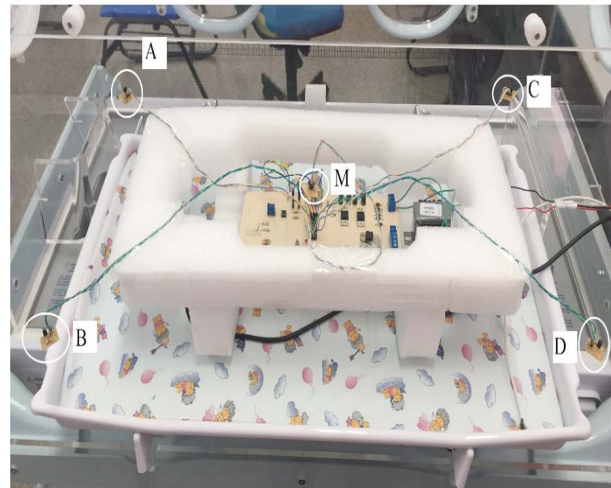


O sensor de temperatura escolhido para esse projeto foi o DS18B20, que é um sensor semicondutor com saída digital, com faixa de temperatura entre -55 e 125°C, com uma precisão de ±0,5°C (MAXIM, 2008).

Para medir a umidade, foi selecionado o DHT22 (AM2302), que possui uma faixa de medição da umidade relativa do ar entre 0 e 100%, e precisão de ±2%. Esse sensor também é capaz de medir a temperatura, porém sua precisão para essa finalidade é de ±1%, sendo acima do estipulado pela norma NBR 60601-2-19. Ambos os sensores utilizam o sistema 1-wire/single-bus para comunicação, em que se comunicam como escravos e o microcontrolador como mestre (AOSONG, 2011).

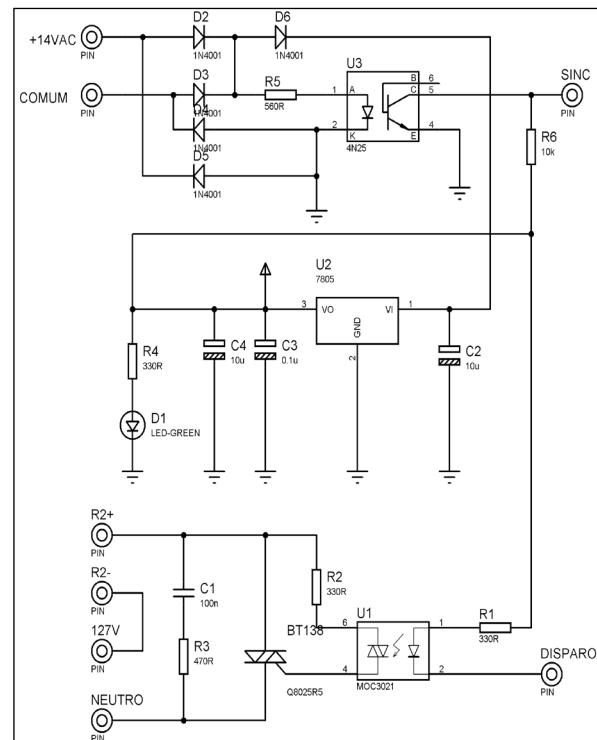
Na Figura 5 são ilustradas as posições dos sensores (posições A, B, C, D e M) dentro da cúpula da incubadora neonatal.

Figura 5 - Posição dos sensores dentro da cúpula da incubadora.



O atuador escolhido para o processo de aquecimento foi a própria resistência de aquecimento de fábrica da incubadora adquirida pela UFPI para as pesquisas, sendo sua potência nominal de 255 W. O circuito de *driver* de potência desenvolvido, bem como seu sincronismo, é ilustrado na Figura 6.

Figura 6 – Circuito driver de potência.



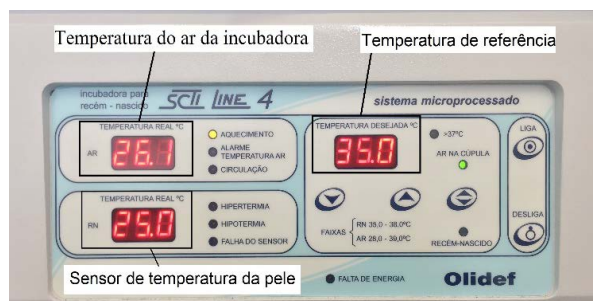
O circuito da Figura 6 é composto por três elementos principais, sendo eles um TRIAC, um regulador de tensão de 5 V e um optoacoplador. O regulador de tensão tem a finalidade de alimentar o circuito de aquisição dados. O optoacoplador tem a função de detectar os pulsos da rede elétrica, sincronizando o circuito do TRIAC à frequência da rede. O TRIAC por sua vez funciona como uma chave, que abre ou fecha a passagem da corrente para a resistência de aquecimento.

#### 4 Resultados e discussão

Os testes do *hardware* de medição construído foram executados utilizando os sistemas de aquecimento e de controle próprios da incubadora comercial utilizada. Seu acionamento foi realizado com temperatura ambiente a 26,1°C. Essa temperatura foi adotada por se enquadrar dentro da faixa de temperatura ambiente para ensaios com incubadoras neonatais disposta pela norma NBR IEC 60601-2-19.

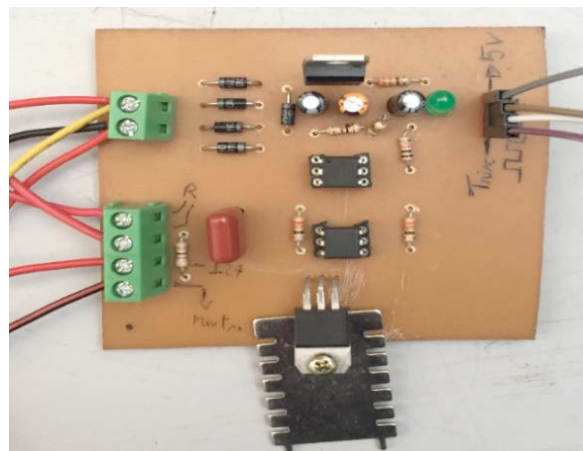
O sinal de referência adotado foi de 35°C, sendo esse sinal ajustado utilizando a própria interface padrão do equipamento, como é ilustrado na Figura 7. Nos testes realizados, o sensor de temperatura da pele do recém-nascido não foi utilizado, sendo seu valor de temperatura desprezado.

Figura 7 - Interface da incubadora neonatal comercial utilizada.



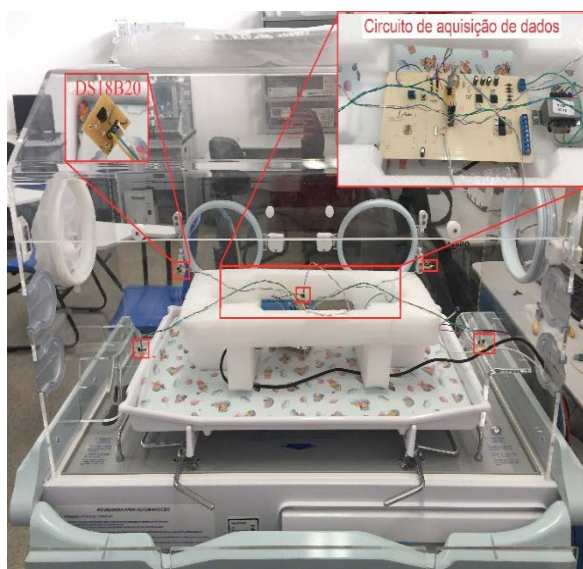
Os circuitos desenvolvidos nesse projeto são divididos em circuito de aquisição de dados e *driver* de potência do aquecedor. Na Figura 8 é ilustrado o driver de controle da potência e sincronismo de rede.

Figura 8 – Driver de potência e de sincronismo de rede.



Na Figura 9 é apresentado o protótipo desenvolvido, com o detalhe do circuito de aquisição de dados e do sensor de temperatura.

Figura 9 – Circuito de aquisição de dados dentro da incubadora neonatal.



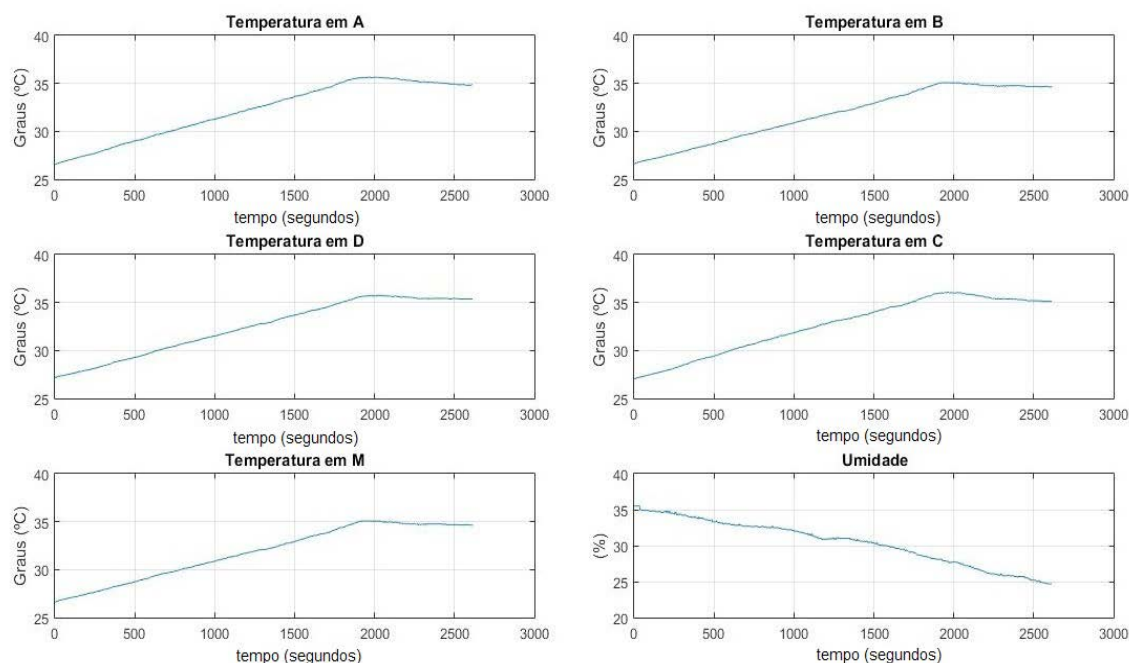
O protótipo da incubadora neonatal permitiu que os dados de temperatura e de umidade fossem medidos durante o tempo de aquecimento da resistência elétrica até a estabilidade da temperatura dentro do equipamento. Esse período correspondeu a 43 minutos e 33 segundos, com um tempo de amostragem de um segundo, com os dados adquiridos por meio da porta serial e enviados a um computador para o devido processamento dos sinais. Esses dados permitiram que fossem gerados gráficos de temperatura

e de umidade em tempo real, com um *software* desenvolvido em Matlab®.

A Figura 10 ilustra os gráficos de temperatura proveniente dos cinco pontos da incubadora neonatal e a umidade relativa de dentro da incubadora durante o teste de aquecimento.

Pelos gráficos da Figura 10, é possível notar o *overshoot* médio na temperatura de 4,43% (1,55°C), com um tempo de assentamento médio de 2159,6 segundos. Esses valores satisfazem a condição quanto ao *overshoot* da temperatura, que segundo a norma NBR IEC 60601-2-19, deve ser menor que 2°C.

Figura 10 – Gráficos de temperatura e de umidade.



## 5 Conclusão

Este trabalho propôs um *hardware* que possibilita o monitoramento em tempo real da temperatura e da umidade, e com isso, verificar se o controle da temperatura satisfaz a norma vigente de incubadoras neonatais. Tal sistema leva em conta o disposto pela norma NBR IEC 60601-2-19 sobre o *hardware* e os procedimentos para os testes de *overshoot* da temperatura. A comunicação com o *software* Matlab, implementado por meio da USB emulando uma entrada serial, permite a comunicação efetiva entre o sistema proposto e futuros projetos de sistemas de controle para esse tipo de sistema.

O protótipo final deste trabalho irá compor um importante sistema dinâmico para o projeto de controladores nos cursos de graduação e mestrado do curso de Engenharia Elétrica da UFPI, sendo esse, 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

- ALBUQUERQUE, A. A. M. **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.
- AOSONG. **Temperature and humidity module: AM2302 product manual.** Disponível em: <<http://akizukidenshi.com/download/ds/aosong/AM2302.pdf>>. Disponível em: abr, 2017.
- ARAÚJO JUNIOR, J. M. *et al.* Assessment and certification of neonatal incubator sensors

through an inferential neural network. **Sensors (Basel)**, v. 13, n. 11, p. 15613-15632, 2013.

ARONE, E. M. Variações da umidade relativa no microclima de uma incubadora. São Paulo: Fanem, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

**ABNT NBR IEC 60601-2-19:** Equipamento eletromédico parte 2-19: requisitos particulares para segurança básica e desempenho essencial da incubadoras para recém-nascidos. Rio de Janeiro, 2014.

AVERY, G. B. **Avery's neonatology:** pathophysiology & management of the newborn. Lippincott Williams & Wilkins, 2005.

BEEMANPALLY K.; POTTIM K. R.; KUO S. M. Multi-channel hybrid active noise control system for infant incubators. In: 2010 IEEE International Conference on Electro/Information Technology (EIT 2010), **Anais...**, Normal, United States, 2010, pp. 1-8.

BRASIL. Ministério da Saúde. Atenção humanizada ao recém-nascido de baixo peso: método mãe-canguru: manual do curso / Secretária de Políticas de Saúde, Área da Saúde da Criança. Brasília: Ministério da Saúde, 2002.

BRITO NETO, J. O. *et al.* PI multivariable control applied to temperature and humidity neonate incubators. In: 2010 9<sup>th</sup> IEEE/IAS International Conference on Industry Applications (INDUSCON 2010), **Anais...**, Sao Paulo, 2010, pp. 1-6.

OLIVEIRA FILHO, J. I.; ALMEIDA, O. M. Cloud-based monitoring system and risk management for premature newborns. In: 2017 2nd International Symposium on Instrumentation Systems, Circuits and Transducers (INSCIT). **Anais...**, Fortaleza, 2017. p. 1-6.

LIU L.; GUJJULA, S.; KUO S. M. Multi-channel real time active noise control system for infant incubators. In: 2009 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC 2009), **Anais...**, Minneapolis, United States, 2009, pp. 935-938.

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

MAXIM. **DS18B20:** programmable resolution 1-wire digital thermometer. Maxim Integrated Products, 2008.

SANTOS, N. M. *et al.* 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, **Anais...**, 2010, Bonito - MT. v. 1. p. 1-6.

SILVADO, J. As incubadoras. **Revista da Sociedade de Medicina e Cirurgia do Rio de Janeiro**, v. 7, n. 8, p. 6-17, 1905.

WEBSTER, J. **Medical instrumentation:** application and design. Wiley, 2009.

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