

Sistema didático microcontrolado de controle de temperatura de estufa

Microcontrolled didactic system for greenhouse temperature control

DOI:10.34117/bjdv8n4-282

Recebimento dos originais: 21/02/2022

Aceitação para publicação: 31/03/2022

Victor Rodrigues Botelho

Engenharia Química

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande - FURG

Endereço: Avenida Itália km - 8 - Campus Carreiros, CEP 96203-900 - Rio Grande RS

Enrique Chaves Peres

Doutorado em Engenharia Química

Instituição: Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Endereço: Av. Universidade das Missões, 464 – Universitário, CEP: 98802-470, Santo Ângelo - RS

Marcelo Gonçalves Soares

Engenharia Química

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande - FURG

Endereço: Escola de Química e Alimentos - FURG

Instituição: Avenida Itália km - 8 - Campus Carreiros, CEP 96203-900 - Rio Grande RS

Renato Dutra Pereira Filho

Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande - FURG

Endereço: LaCoPQ - Laboratório de Controle de Processos Químicos, Avenida Itália km - 8 - Campus Carreiros, CEP 96203-900 - Rio Grande – RS

RESUMO

O ensino do controle de processos químicos carece de experimentos reprodutíveis. este trabalho objetivou implementar o controle de temperatura e umidade no ar em estufa. a instrumentação foi montada usando hardware livre, constituindo-se de um psicrômetro microcontrolado (atmel 328p), como unidade de aquisição de dados e controle. havia 4 sensores de temperaturas de bulbo seco e úmido (lm35, texas instruments.). a atuação na retroalimentação se deu pela manipulação da potência de aquecimento resistivo e da velocidade de uma ventoinha. o monitoramento se fez por bluetooth, entre o hardware livre mestre, e o software cliente no s.o. android. foram referências um termohigrômetro minipa mt-242 e um sensor dht11. as medidas de umidade diferiram de 0,4% até 9,1%, em uma média de 1000 medições. a identificação e a sintonia foram segundo cohen-coon e ziegler-nichols. o experimento agregou ao ensino de engenharia química as atividades práticas de projeto, sintonia e teste de controladores automáticos de temperatura e umidade do ar.

Palavras-chave: arduino, ensino de engenharia, instrumentação industrial, secagem.

ABSTRACT

the teaching of chemical process control lacks reproducible experiments. this work aimed to implement the control of air temperature and humidity in a greenhouse. the instrumentation was assembled using free hardware, consisting of a microcontrolled psychrometer (atmel 328p), as a data acquisition and control unit. there were 4 dry and wet bulb temperature sensors (lm35, texas instruments.). the feedback action was done by manipulating the resistive heating power and the speed of a fan. the monitoring was done by bluetooth, between the free hardware master and the client software on the android OS. a minipa mt-242 thermohygrometer and a dht11 sensor were used as references. the humidity measurements varied from 0.4% to 9.1%, in an average of 1000 measurements. the identification and tuning were according to cohen-coon and ziegler-nichols. the experiment aggregated to the chemical engineering teaching the practical activities of design, tuning and testing of automatic air temperature and humidity controllers.

Keywords: arduino, engineering education, industrial instrumentation, drying.

1 INTRODUÇÃO

O caráter multidisciplinar do controle automático de processos químicos representa um desafio adicional ao ensino de Engenharia Química. Não só estão envolvidos os conceitos de modelagem matemática e dinâmica de processos, como aspectos da teoria de controle automático, que serão mais bem abordados com a disponibilidade de aulas práticas que englobem os conceitos teóricos da disciplina.

O objetivo geral do presente trabalho foi a confecção de um sistema automático para fins didáticos, baseado em um psicrômetro digital microcontrolado dotado de sensores de temperatura de bulbo seco e de bulbo úmido, bem como de um sistema de atuação elétrico puramente resistivo e um sistema de ventilação, no interior de uma estufa adaptada para secagem de papel.

Os objetivos específicos foram a montagem de um sistema de aquisição de dados usando microcontrolador Arduino e a elaboração de um código, que interpretasse os dados obtidos, os armazenasse e os mostrasse em uma interface LCD, além de realizar a transmissão dos mesmos via conexão *bluetooth* para dispositivos portáteis usando o sistema operacional *Android*, permitindo o monitoramento à distância do processo.

A experimentação no ensino de Engenharia Química é de reconhecida valia, pois apenas na prática algumas situações podem ser vivenciadas, bem como os conceitos passam a ter uma significação maior, facilitando a aprendizagem.

A construção do sistema de controle automático de umidade na estufa foi uma maneira de aplicar tais conceitos, pois através desse foi aberta uma gama de

possibilidades atreladas ao seu uso, envolvendo desde a construção em si, passando por conhecimentos de programação em C++ e eletrônica, até o seu uso efetivo em controle automático em estratégia feedback PID, o que leva ao ponto principal, o projeto e sintonia de controladores.

2 METODOLOGIA

Na montagem do sistema foram usados quatro sensores de temperatura LM35 (*Texas Instruments*, USA), um *display* LCD (*Displaytronic*, USA), um *shield* de expansão para leitura/escrita em cartão SD (*LC Studio*, China), um sensor de umidade DHT11(*Sparkfun*, USA), um microcontrolador compatível com Arduino Nano (*Funduino*, China), um *shield bluetooth* (*DF Robot*, China), um “cooler” de 12V, conjuntos de lâmpadas incandescentes de 40W, 60W e 100W e uma estufa adaptada de secagem de papel (52 cm x 52 cm x 52 cm).

A aquisição das temperaturas de bulbo seco e úmido foi feita por meio de sensores LM35, sendo que através das equações psicrométricas empíricas (ASHRAE, 2009), inseridas no código do microcontrolador Arduino, foi determinada a umidade relativa do ar na estufa. Além disso, o projeto contou com um sensor DHT11, responsável pela medição direta de umidade e com *shield* SD que armazenou as medidas, que também são mostradas em um *display* LCD em tempo real. As Figuras 1 e 2 ilustram a montagem e o esquemático do sistema didático montado, respectivamente.

Figura 1 – Montagem do sistema prototipado de medição de umidade do ar

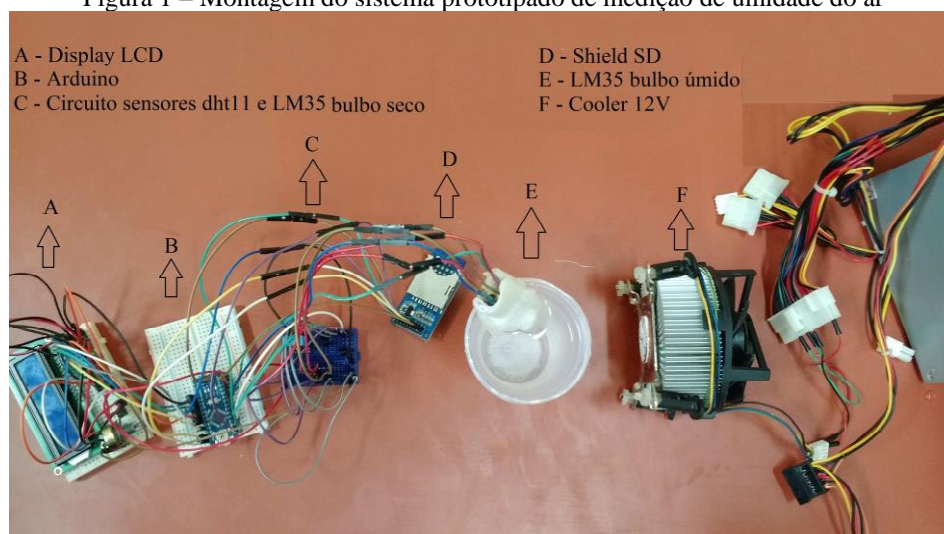
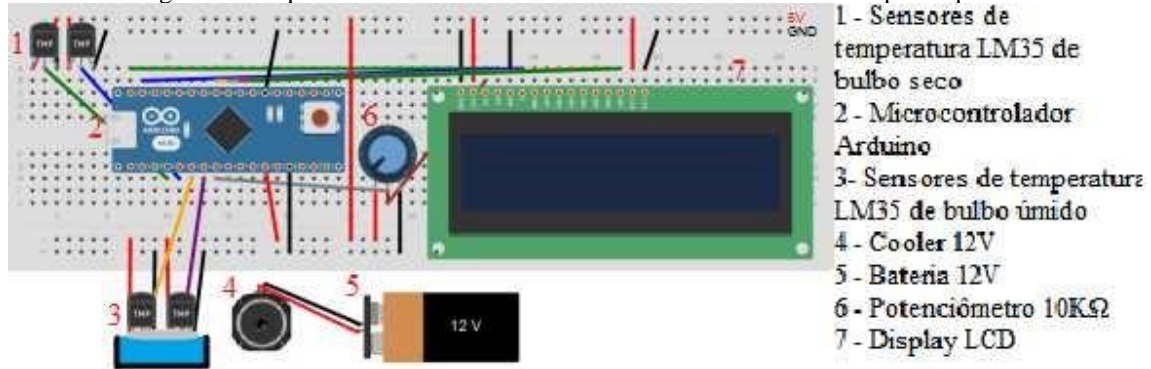
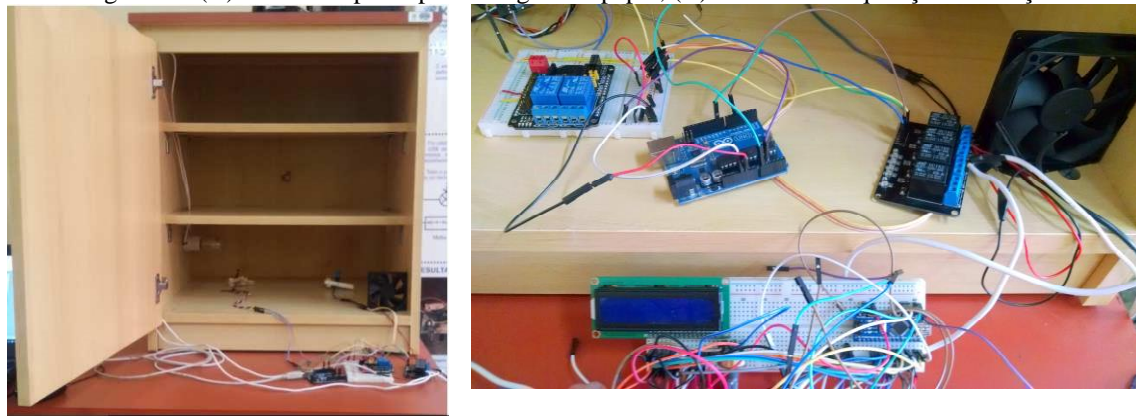


Figura 2 – Esquema em *breadboard* do circuito eletrônico do sistema prototipado.



Na Figura 3A é apresentada a vista da estufa adaptada de secagem utilizada e na Figura 3B o sistema eletroeletrônico de aquisição de dados e de atuação.

Figura 3 – (A) Estufa adaptada para secagem de papel; (B) Sistema de Aquisição e Atuação.



(A)

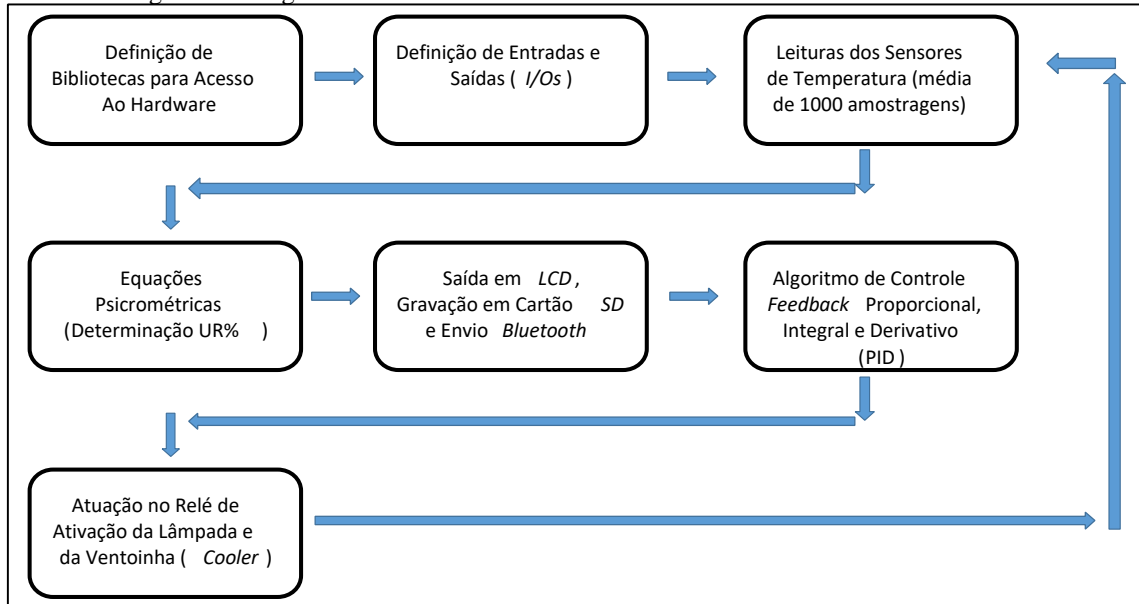
(B)

A partir da montagem física, dos testes de precisão do psicrômetro montado e da determinação da dinâmica do processo de aquecimento na estufa, partiu-se para a realização da sintonia do controlador pelo método de Cohen-Coon (Seborg et al., 2011). Esse método correlaciona os parâmetros do controlador (K_c , τ_I e τ_D) com os parâmetros do modelo (K , τ e θ), em um sistema de malha aberta, frente a uma perturbação degrau, através da curva de dinâmica de reação. Foi usado também o método de Ziegler-Nichols de sensibilidade limiar, que permite a sintonia em malha fechada (Seborg et al., 2011). Para implementar esse último método foi usada a ferramenta de software Xcos/Scilab 5.2 para simular o processo e determinar o ganho último e o período último, frente a um controlador proporcional de ganho crescente.

Com o software no Arduino, vide figura 4, juntamente com o *shield bluetooth bee*, fez-se a transmissão via *bluetooth* das variáveis de processo o dispositivo *Android*. A

interface Amarino foi responsável pelos gráficos de temperaturas e umidade, monitorando à distância o processo.

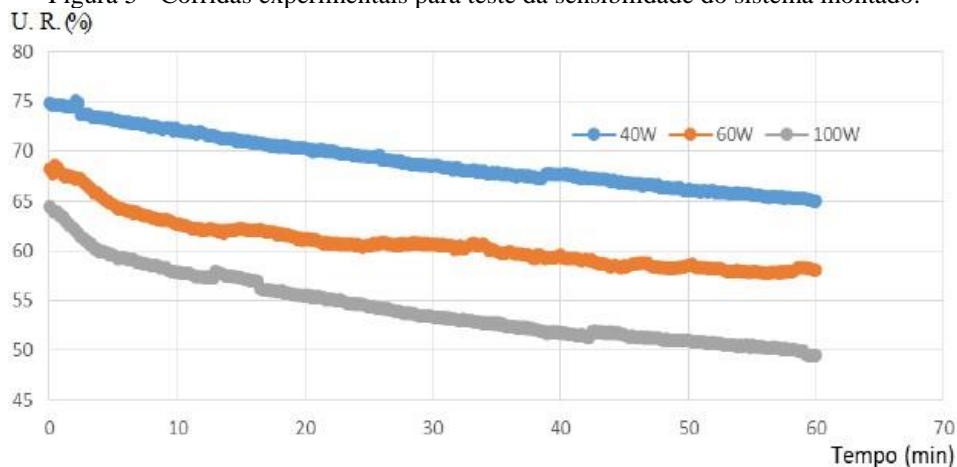
Figura 4 – Diagrama de blocos ilustrativo do software no microcontrolador Arduino.



3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para testar a sensibilidade, a precisão e a exatidão do sistema montado, foram efetuados testes na estufa adaptada de secagem de papel, através de três experimentos (Figura 5) em duplicata de uma hora de duração cada, alterando-se a potência da lâmpada usada na estufa.

Figura 5 - Corridas experimentais para teste da sensibilidade do sistema montado.

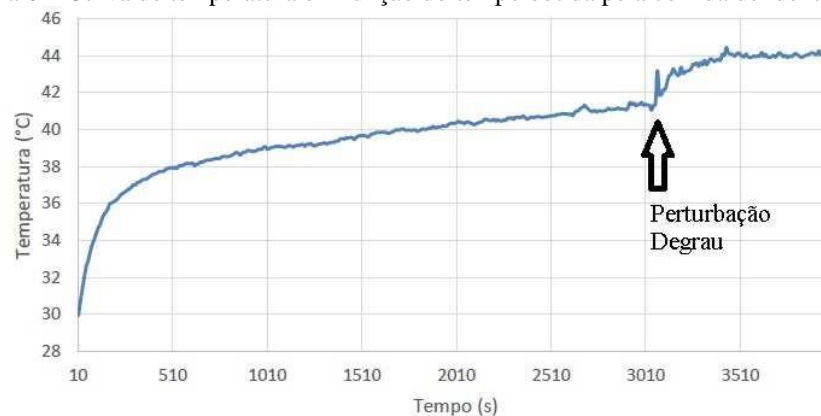


As medidas de umidade relativa do ar realizadas diretamente pelo sensor DHT11 e aquelas calculadas via temperaturas de bulbo seco e úmido diferiram de 0,4% até 9,1%,

em uma média de 1000 medições. Esses resultados encontram-se na faixa entre 0 e 10%, ou seja, dentro do esperado para o erro em medições de umidade do ar, comum em projetos de baixo custo como esse, tais como os psicrômetros desenvolvidos por Marin et al (2000) e por Camerini et al (2011), que evidenciaram erros máximos de 5% e 8,5%, respectivamente.

Para realizar a identificação da dinâmica do processo utilizou-se a lâmpada de 100W. Inicialmente, fez-se uma corrida de identificação desta dinâmica, estipulando-se valores de ação de 80%, e 90% de aquecimento, gerado devido ao aumento de potência da lâmpada, após a perturbação em degrau, permitindo obter-se a curva temperatura *versus* tempo (Figura 6).

Figura 6 – Curva de temperatura em função do tempo obtida pela corrida de identificação.



O tempo de primeira ordem (τ) foi de 239,4 segundos, e o tempo morto (d) foi de 31,2 segundos. Além disso, sabendo-se as potências médias com ação de 90% e 80% (92,6W e 88,3W, respectivamente), bem como as temperaturas média e inicial após a resposta ao degrau (44,01 °C e 41,35 °C, respectivamente), calculou-se o ganho do processo (K_p) de 0,62 °C/W.

A identificação da dinâmica do processo, realizada anteriormente, determinou K_u , ganho último, e P_u , período último. Para isso foi usada uma aplicação de simulação computacional, através da ferramenta Xcos do programa Scilab (Figura 7), para realizar simulações até a condições de resposta oscilatória com amplitude constante.

A partir da determinação de K_u e P_u , fez-se a sintonia em malha fechada por Ziegler-Nichols, constatando-se os valores apresentados nas Tabelas 1 e 2 para controladores do tipo P, PI e PID.

Figura 7 – Diagrama de blocos no Xcos/Scilab, para sintonia em malha fechada.

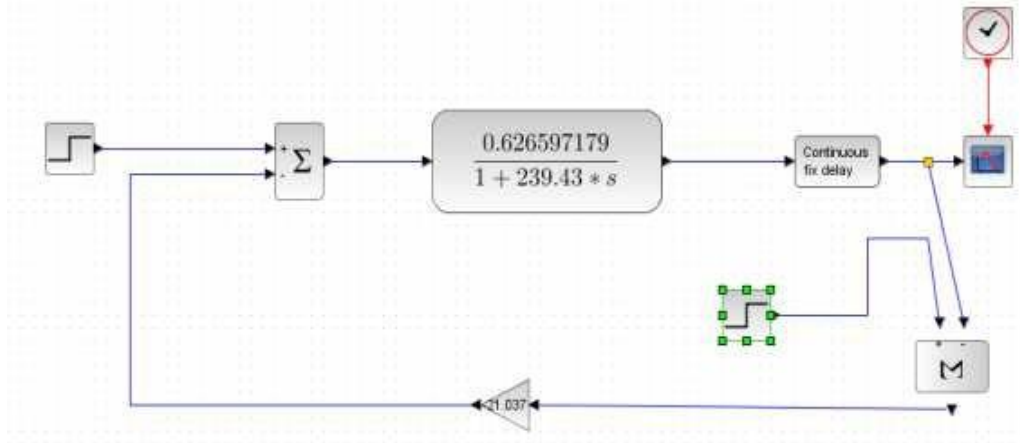


Tabela 1 – Parâmetros do controlador pelo método de Cohen-Coon para lâmpada de 100W.

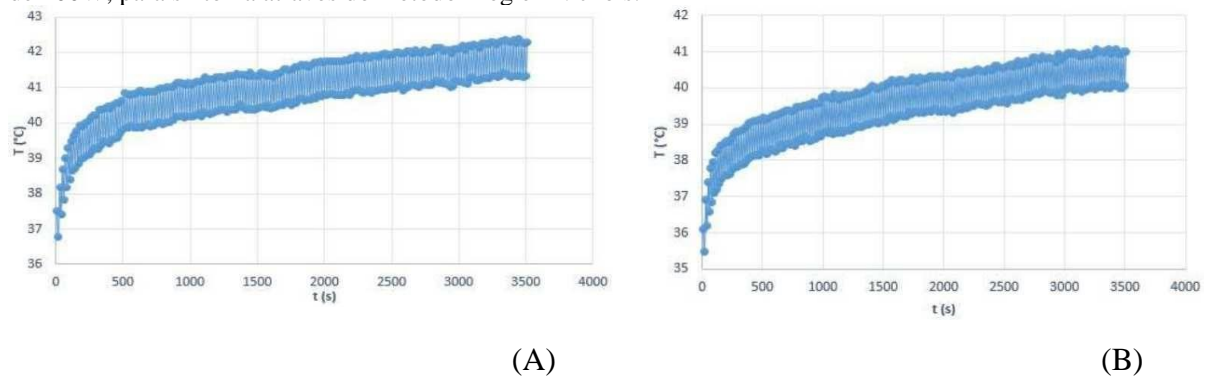
	k_c	τ_i	τ_d
P	12,81	-	-
PI	11,18	81,76	-
PID	16,77	72,9	11,09

Tabela 2 – Parâmetros de sintonia em malha fechada determinados pelo método de Ziegler-Nichols para lâmpada de 100W.

	k_c	τ_i	τ_d
P	10,52	-	-
PI	9,56	95,83	-
PID	12,37	57,5	14,37

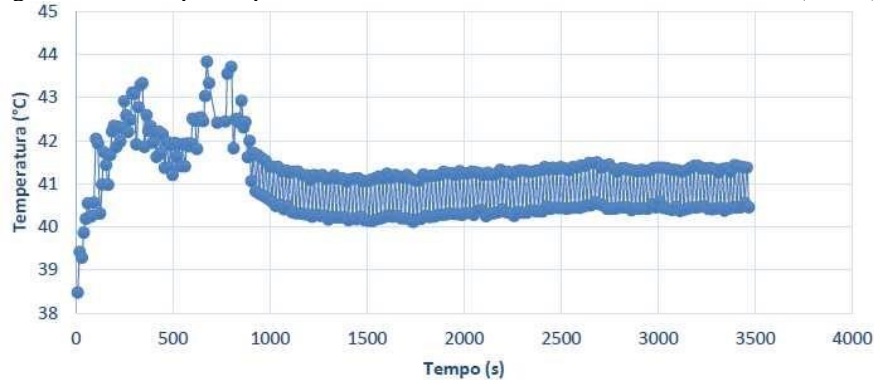
Com base na corrida experimental de identificação do processo, escolheu-se um setpoint de 43°C. Na Figura 8 são apresentados os gráficos de desempenho temperatura *versus* tempo em malha fechada para os controladores PI e PID.

Figura 8 – Gráfico de desempenho em malha fechada para controlador PI (A) e PID (B) usando lâmpada de 100W, para sintonia através do método Ziegler-Nichols.



O desempenho em malha fechada da temperatura controlada é apresentado na Figura 9, para o controle PID, com parâmetros de sintonia em malha aberta, com setpoint de 41° C.

Figura 9 – Desempenho para controlador PID sintonizado em malha aberta (100W).



Com a sintonia, visou-se alcançar um projeto de controlador feedback com desempenho razoável, sabendo-se das limitações físicas do projeto, onde inicialmente foi constatado que quanto maior a potência da lâmpada, e conseqüentemente maior temperatura e menor umidade, mais impreciso tornava-se o psicrômetro. Isso pode ser atribuído ao fato de a umidade do ar ser uma grandeza de difícil medição com sensores de baixo custo, além das dificuldades inerentes ao processo físico e também de manutenção (CUNHA, 2013).

Tendo em vista que o foco é o ensino dos métodos de sintonia, tem-se que o psicrômetro digital montado no sistema didático serviu à proposta. Algumas dificuldades encontradas pelos alunos foram problemas relacionados com a montagem eletrônica em si, bem como a programação em C++ na interface Arduino.

Os estudantes da disciplina de graduação Instrumentação e Controle de Processos Químicos, ao utilizarem o sistema montado, foram motivados a registrarem as observações experimentais em mídia digital disponível em: <http://youtu.be/yW3A7v4QYSA>.

4 CONCLUSÃO

Foi construído um sistema didático para o ensino de controle de processos, dotado de sistema de aquisição, visualização e transmissão de dados, em uma plataforma microcontrolada Arduino, bem como foram efetuadas corridas experimentais, que possibilitaram determinar a faixa de exatidão do psicrômetro construído, estando na faixa

de até 10% de erro, para posterior controle da umidade em uma estufa para papel, utilizando-se dos métodos de sintonia de Cohen-Coon e Ziegler-Nichols.

Constatou-se que o objetivo deste trabalho foi alcançado, com a efetiva utilização do sistema montado pelos estudantes do quarto ano do curso de Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande.

REFERÊNCIAS

ASHRAE Handbook: Fundamentals. Atlanta, GA; American Society of Heating and Air Conditioning Engineers, 2009.

CAMERINI, N.; Evaluation of alternative agrometeorological instruments for monitoring poultry shed environment. Engenharia na agricultura, Viçosa - MG, v.19, março/abril, 2011.

CUNHA, A.; Programação, conexão e avaliação de psicrômetro aspirado de termopar de baixo custo em micrologger para estudos agrometeorológicos. Revista Brasileira de Meteorologia, v.28, n.2, junho, 2013.

MARIN, F.; ANGELOCCI L.; FILHO, M.; NOVA, N.; Construção e avaliação de psicrômetro aspirado de termopar. Scientia Agricola., Piracicaba – SP, v.58, n.4, outubro/dezembro, 2001.

SEBORG, D.; EDGAR, T.; MELLICHAMP, A.; *Process dynamics and control*. U.S.A: Editora Wiley, 2011.