

SISTEMA DE CONTROLE DE TEMPERATURA DE BAIXO CUSTO PARA SÍNTESE DE POLÍMEROS À BASE DE GLICERINA

COBEF 2017-0908

Adriel Maier Farias, adrielmaier@gmail.com¹
Edilson Gabriel Veruz, edilsonveruz@hotmail.com¹
Luciano Zart Olanyk, olanyk@utfpr.edu.br²
Neri Volpato, nvolpato@utfpr.edu.br²

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Avenida Professora Laura Pacheco Bastos, 800 - Bairro Industrial - 85053-510 – Guarapuava – PR - Brasil

²Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Rua Deputado Heitor Alencar Furtado, 5000 - Ecoville CEP 81280-340 - Curitiba - PR – Brasil

Resumo: A produção de combustíveis renováveis é uma importante alternativa aos de origem fóssil, mas pode gerar inconvenientes. Por exemplo, do processo de produção do biodiesel obtém-se glicerina como coproduto e apesar do seu uso em diversas áreas, a literatura reporta que o excedente de glicerina resulta em problemas econômicos e ambientais. Observa-se assim, grande interesse em novas aplicações para a glicerina, incluindo a síntese de polímeros. As reações de polimerização em uma síntese são restringidas por diversos fatores, incluindo a temperatura de reação. Se as temperaturas forem abaixo do especificado, a reação é incompleta e se altas o material pode vir a degradar. Este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de baixo custo para estabilização e controle da temperatura para síntese de polímeros. Inicialmente, utilizou-se um regulador de tensão comercial, com controle manual (malha aberta) para avaliar parâmetros como tempo de estabilização da temperatura e potência necessária para manutenção da temperatura da reação durante a polimerização. Em seguida, desenvolveu-se um sistema controlado por um processador (malha fechada) de baixo custo, conhecido por “Arduino”, que substitui o regulador de tensão. Este novo sistema possibilitou alcançar a temperatura de reação em 40 minutos, diferente dos 160 minutos utilizando o regulador de tensão e resultou em agilidade ao processo. O sistema se mostrou promissor para auxiliar na síntese apesar de manter uma oscilação de temperatura em uma faixa de aproximadamente 25 °C, medida durante a reação, necessitando ajustes. Como resultado, obteve-se um sistema hábil para auxiliar na síntese um polímero a base de glicerina.

Palavras-chave: Controle, Glicerina, Polímeros.

1. INTRODUÇÃO

O problema de esgotamento dos recursos naturais e as consequências ambientais causadas pela dependência e uso em larga escala do petróleo, incentivou o desenvolvimento de alternativas no ramo energético. Como efeito, no final do século XX observou-se a diversificação global da matriz energética incluindo o uso do biodiesel como alternativa ao combustível fóssil. Entretanto, este biocombustível pode gerar inconvenientes, como o excesso de geração de glicerina. Durante o processo de produção do biodiesel, são gerados aproximadamente 10% (v/v) de glicerina como coproduto. Apesar do seu uso em diversas áreas, a literatura reporta que este excedente de glicerina resulta em problemas econômicos e ambientais (Marçon, 2010). A preocupação com os crescentes níveis de glicerina produzidos tem chamado a atenção de químicos e engenheiros e que despendem esforços em pesquisas de aproveitamento e valorização da glicerina (Biodiesel, 2007).

A valorização econômica desse composto é possível pela obtenção de produtos derivados com utilidade prática e produzido em larga escala (Dabove, 2011). A síntese de polímeros se mostra uma alternativa eficiente, visto que há diversas combinações possíveis de reagentes que proporcionam características únicas e aplicáveis em diversos segmentos industriais. Todavia, para obter polímeros de qualidade, o processo de fabricação deve ser controlado. A literatura aponta que as reações de polimerização, em geral, são restritas por fatores internos, entre outros, o controle da temperatura durante a reação (Mano, 2004). Se a temperatura for baixa, a reação de polimerização não ocorre por completo resultando em um material com característica indesejável, se suficientemente alta pode ocorrer a quebra das ligações da cadeia principal de carbono, causando a degradação do material polimérico (Canevarolo, 2006).

A preocupação em se obter o controle sobre a temperatura tem como objetivo aumentar a qualidade dos produtos e padronizar processos (Procel, 2008). Atualmente, equipamentos eletrônicos modernos são utilizados para monitorar e controlar a temperatura em diversos processos produtivos (Ogata, 2010). Contudo, equipamentos com tal desenvoltura são caros e direcionados ao uso industrial. Desse modo, para auxiliar pesquisas acadêmicas envolvendo síntese de polímeros, propõe-se neste trabalho, o desenvolvimento de uma alternativa de sistema de controle de temperatura, mas de baixo custo. Nos últimos anos, o surgimento de dispositivos mecânicos e eletrônicos populares e de baixo custo facilitou o desenvolvimento de novas pesquisas, principalmente na área acadêmica (Souza, 2015). Um exemplo recente

deste uso é a plataforma de software e hardware “Arduíno”. Estas ferramentas simplificaram a forma de desenvolver sistemas de malha fechada devido sua simplicidade de operação e principalmente por possuírem plataforma *open source*. Este fato possibilita a disponibilidade de uma gama de informações, bibliotecas e materiais (Arduíno, 2015).

Para se obter um controle de estabilidade de temperatura em uma reação polimérica neste trabalho, optou-se por um sistema eletrônico de controle em malha fechada. A escolha da plataforma Arduíno foi devido ao seu baixo custo, capacidade de interagir com vários sensores e outros periféricos (Arduíno, 2015).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

Para o desenvolvimento do experimento, foi montado um reator químico formado por um recipiente de alumínio preenchido com areia e uma resistência elétrica de 400W enterrada sob a areia. Este aparato foi encoberto por isolamento térmico e papel alumínio (Fig. 1a). Para a reação polimérica, utilizou-se um recipiente de silicone (vermelho) alocado sobre o banho de areia. Inicialmente, o aquecimento do sistema foi realizado com um regulador de tensão (Fig. 1b), neste caso, um variador de corrente alternada VARIAC (*variable AC transformer*) com corrente de 4 amperes, potência máxima de 1000W, modelo TDGC2/1 e marca JNG. Para desenvolvimento do sistema de controle de temperatura, foram utilizados um clone Arduíno UNO R3 Blackboard v1.0 produzido pela Robocore, uma fonte modelo POL-16e, fabricado pela Politerm, um TRIAC (*triode for alternating current*) modelo BTA41600B, produzido pela ST Microeletronics, um circuito integrado modelo MOC3020 e um termistor NTC 3950 de 100 K (Fig. 1c).

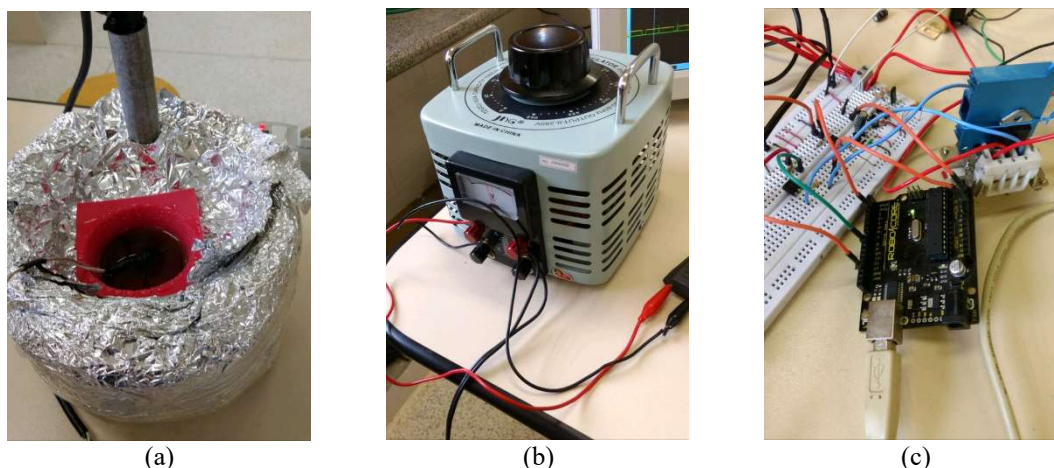


Figura 1 - (a) Reator químico, (b) Regulador de tensão (VARIAC), (c) Sistema de controle de temperatura.

2.2. Métodos

2.2.1. Sistema de controle com o regulador de tensão alternada

O objetivo desta etapa foi determinar alguns parâmetros de controle da síntese de polimerização, entre estes, o tempo de estabilização da temperatura de reação e a tensão fornecida à resistência. O VARIAC compreende em um autotransformador que possui um ponto de contato variável no enrolamento secundário e que permite, para uma dada tensão de entrada, diferentes tensões de saída (Nogueira, 2009). O VARIAC foi conectado à resistência elétrica de 400 W localizada no interior do banho de areia. O recipiente de silicone foi preenchido apenas com glicerina, uma vez que este é o componente base para futuras reações de polimerização. Para simular uma síntese polimérica, determinou-se uma temperatura de reação de aproximadamente 200 °C. Foram realizados três diferentes experimentos considerando os respectivos valores de tensão 145, 150 e 175 Volts (medidos por um multímetro). Para cada experimento, a tensão foi mantida a um valor constante e mediu-se o incremento da temperatura diretamente na glicerina em função do tempo. Para tanto, utilizou-se um multímetro submerso na glicerina.

2.2.2. Sistema de controle com processador de baixo custo

O esquema do sistema de controle de temperatura em malha fechada desenvolvido neste trabalho é mostrado na Fig. (2). No sistema desenvolvido, um TRIAC, conectado ao elemento aquecedor, cumpre a função de atuador. O TRIAC manipula a potência transmitida através de um controle de fase durante parte do ciclo da onda de tensão da fonte, conforme observado na Fig. (3). A duração desta conexão e, portanto, a potência é determinada pelo ângulo de disparo (Ahmed, 2000). O que fornece instruções ao TRIAC são pulsos de comando provenientes do Arduíno. Para tanto, utiliza-se do circuito integrado MOC3020, o qual permite a interface entre o controlador e periféricos de alta tensão, enquanto os mantém eletricamente isolados, evitando danos à parte de baixa tensão do sistema (Texas Instruments, 1998).

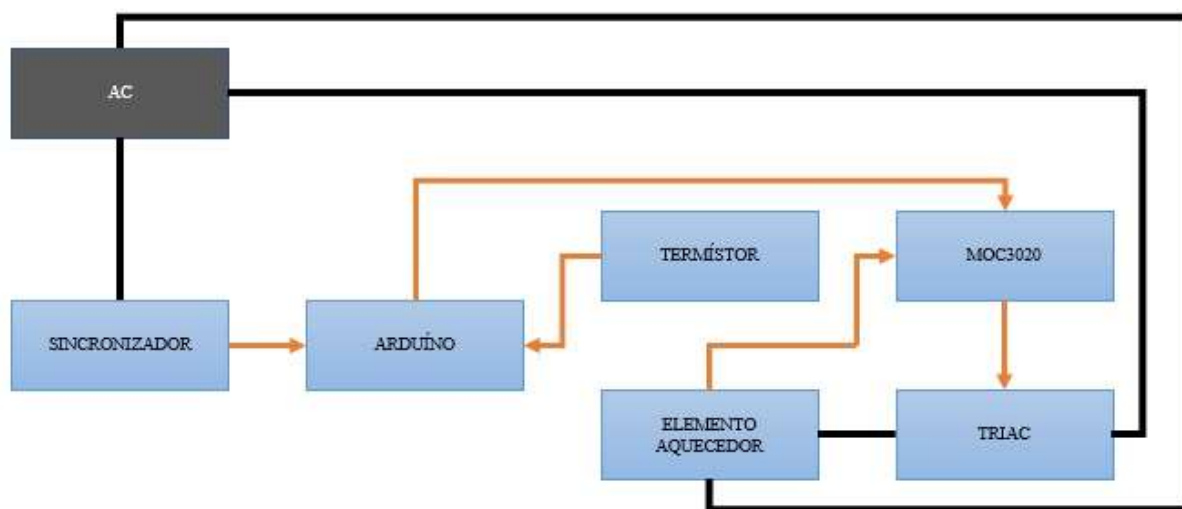


Figura 2: Componentes do sistema com processador de baixo custo.

A Fig. (3) mostra a forma de onda obtida através do controle de fase, fazendo o uso de um TRIAC, e os pulsos de comando, provenientes do controlador.

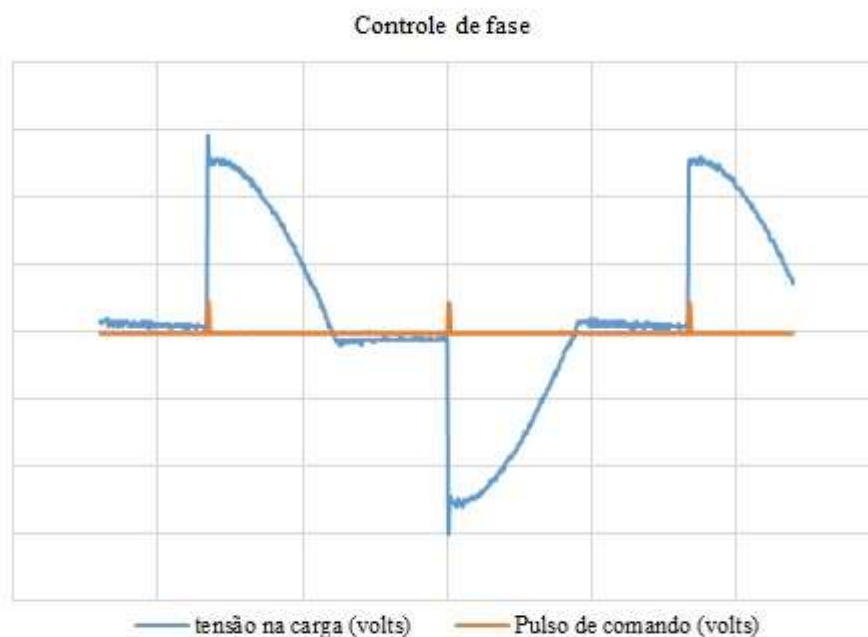


Figura 3: Forma de onda proveniente do controle de fase.

Segundo a literatura, para que o controle de fase possa ser utilizado, é necessário informar ao controlador, a posição atual da onda de tensão da fonte, ou seja um sincronizador (Ahmed, 2000). Para fornecer tal informação, utilizou-se um circuito que envia um pulso, ao controlador, quando a tensão da onda atinge zero volts. O circuito utilizado para este trabalho proporciona uma detecção estável e precisa do ponto em que a tensão atinge zero volts, enquanto possui boa eficiência energética, usa poucos componentes e dispensa o uso de componentes de precisão (Godzinsky, 2011). A Fig. (4) apresenta a forma de onda produzida pelo circuito utilizado e a onda de tensão da fonte. Devido à natureza de malha fechada do sistema, é necessário que o processador obtenha temperatura do processo, para fazer ajustes de saída. Neste trabalho, o termistor foi conectado em série com um resistor de 47 k Ω , entre 5 e zero Volts, como divisor de tensão. Uma porta analógica do Arduino foi conectada entre o termistor e o resistor, fornecendo ao controlador, através do conversor analógico-digital do Arduino, um valor entre zero e 1023, representativo da tensão no nó central do divisor de tensão.

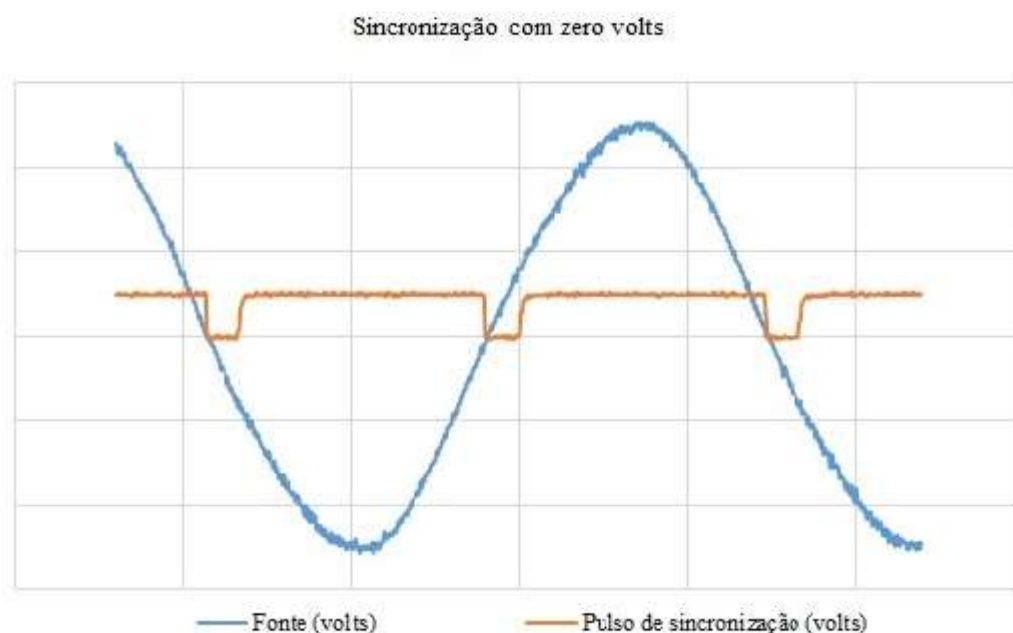


Figura 4: Forma de onda do pulso de sincronização.

Utilizou-se assim a equação de Steinhart-Hart que relaciona o valor medido a uma determinada temperatura. Para encontrar os três coeficientes da equação Steinhart-Hart, A , B e C , a resistência do termistor foi medida em três temperaturas diferentes utilizadas para gerar um sistema de equações que, após sua solução, fornecem os três coeficientes (Stanford, 2012). Uma vez coletadas todas estas informações, pode-se escrever a Eq. (1), como:

$$T = \left\{ A + B \cdot \ln \left(\frac{R \cdot V \cdot V_t}{1024 \cdot (V_t - V)} \right) + C \cdot \left[\ln \left(\frac{R \cdot V \cdot V_t}{1024 \cdot (V_t - V)} \right) \right]^3 \right\}^{-1} - 273,15 \quad (1)$$

Onde;

T é a temperatura em °C.

A , B e C são as constantes da equação Steinhart-Hart, neste caso, $8,0276 \cdot 10^{-4}$, $2,0146 \cdot 10^{-4}$ e $1,6291 \cdot 10^{-7}$, respectivamente.

R é a resistência do resistor que é conectado ao termistor, neste caso $47k\Omega$.

V_t é a voltagem máxima do circuito, neste caso 5 volts.

V é a leitura do Arduíno.

Fazendo o uso desta equação, o controlador obtém a temperatura do processo a partir do valor proveniente do conversor analógico-digital.

Para definir o comportamento do sinal de saída, em resposta às características do processo, é necessário fornecer, ao controlador, um algoritmo que dita o comportamento do sistema. No sistema desenvolvido, foi utilizado um controle proporcional, que pode ser escrito matematicamente como na Eq. (2) (Tehrani, 2012);

$$P = K_p \cdot e(t) + P_0 \quad (2)$$

Onde;

P é a correção a ser efetuada.

K_p é o ganho proporcional.

$e(t)$ é erro do estado do processo, com relação ao alvo.

P_0 é a correção esperada quando o erro é igual a zero.

P_0 será obtido a partir dos experimentos do sistema de malha aberta, e será calculado de forma a fornecer a mesma potência que a voltagem que mais se aproximará do ideal para a temperatura de reação de polimerização.

K_p foi, inicialmente, escolhido arbitrariamente e ajustado com experimentos subsequentes.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Medições com o Regulador de tensão alternada

A ideia de utilizar um dispositivo eletromecânico de controle em malha aberta (VARIAC) visa o controle da temperatura, porém, sem um sistema refinado, apenas variando a tensão do equipamento e obtendo uma temperatura de retorno. Na Fig. (5) observa-se a evolução da temperatura para cada tensão.

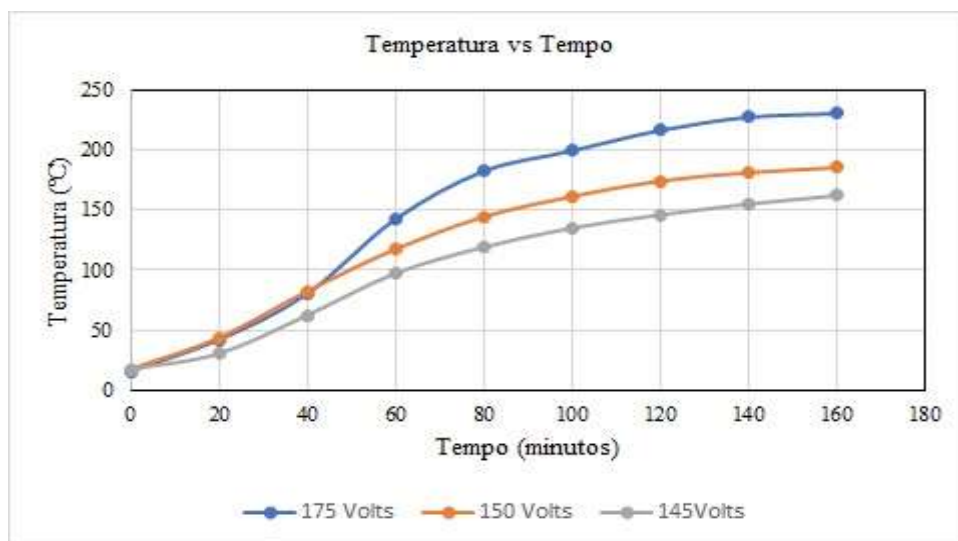


Figura 5 - Variação da temperatura no tempo para as três tensões

O sistema foi acionado com o banho de areia e os demais componentes à temperatura ambiente. Como a temperatura da reação de polimerização foi inicialmente definida em aproximadamente 200 °C, nota-se pela Fig. (5) que a tensão apropriada para a reação atingir esta temperatura foi entre 150 e 175 Volts. O tempo necessário para atingir esta temperatura (até a estabilização), foi de aproximadamente 160 minutos. Além disso, para determinar a exata voltagem para se obter os exatos 200 °C, seriam necessários mais experimentos ou, interpolação. Mesmo assim, como o equipamento possui controle em malha aberta, fatores térmicos externos podem influenciar no resultado. Além disso, eventuais variações desejáveis de temperatura durante a síntese podem levar grandes períodos de estabilização. Outro ponto a ser considerado é que reações que necessitem rápidos acréscimos ou decréscimos de temperatura ou rampas de temperatura sem considerável período de estabilização podem ser inviáveis utilizando-se este tipo de equipamento.

3.2. Controle de temperatura utilizando a placa “Arduíno”

A Fig. (6) exibe a variação da temperatura em relação ao tempo do processo controlado pelo sistema de malha fechada. O sistema foi acionado com o banho de areia e os demais componentes à temperatura ambiente.

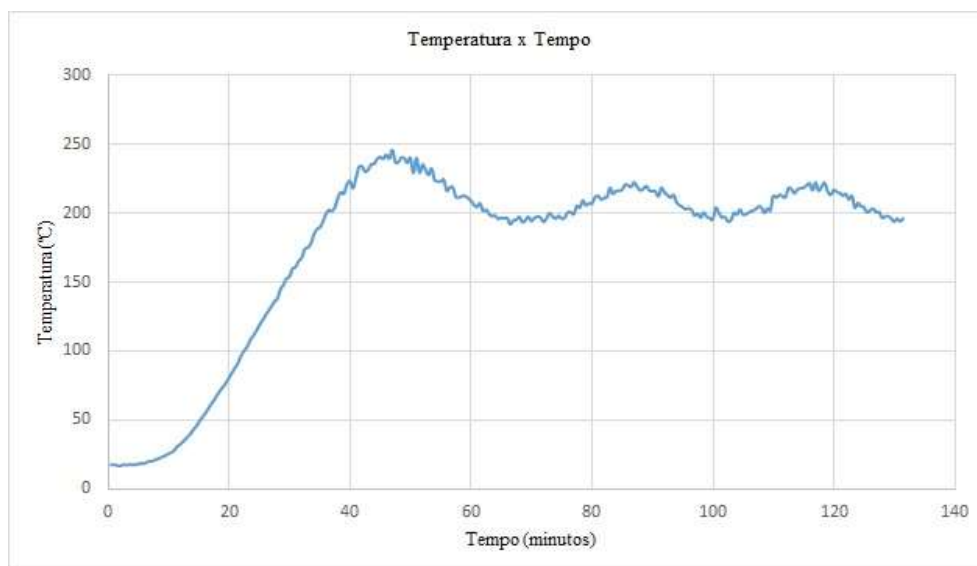


Figura 3 - Gráfico Temperatura por Tempo do controle de temperatura utilizando a placa Arduino.

Nota-se um período em que a temperatura não varia nos primeiros minutos (entre o acionamento do sistema e o início da mudança de temperatura da glicerina). Este período pode ser explicado pela natureza (inércia térmica) do banho de areia, pois o mesmo deve se aquecer antes que seja capaz de transferir calor à glicerina no interior do recipiente. Em seguida, observa-se que o incremento de temperatura foi a uma taxa muito mais elevada em comparação com o sistema de malha aberta. A temperatura ultrapassou 200 °C antes dos 40 minutos e atingiu seu máximo em aproximadamente 45 minutos. Nota-se que o sistema oscilou ao redor da temperatura alvo (200 °C), o sistema manteve a temperatura em uma estreita faixa (aproximadamente 25 °C). Esta amplitude ou oscilações presentes pode ser causada pelo controlador puramente proporcional. Se uma menor variação é desejada, o sistema pode ser modificado e utilizar outro algoritmo de controle, como, por exemplo, o de controle proporcional e integral, que leva em consideração o acúmulo de erro durante um período de tempo, porém a resposta transiente pode ser afetada de forma negativa (Tehrani, 2012).

O sistema desenvolvido, como um todo, é passível de modificações e melhorias. Partes e componentes do sistema podem ser substituídos por outros que obtenham melhor desempenho em suas respectivas funções, por exemplo, se é desejado uma indicação da temperatura que contenha menos erro, o termistor pode ser substituído por outros métodos de medição de temperatura, sem que seja necessário modificar ou substituir outros componentes do sistema, exceto em casos em que o componente a ser utilizado não seja capaz de interagir com o controlador de maneira satisfatória.

4. CONCLUSÃO

Durante os experimentos utilizando o VARIAC, percebeu-se que o sistema apresentou grande inércia térmica para estabilizar a temperatura, se comparado ao sistema de controle com processador de baixo custo. Esta inércia pode estar relacionada ao fato do sistema de malha aberta fornecer uma tensão constante à resistência de aquecimento durante todo o processo. Ao utilizar um sistema de malha fechada, foi possível utilizar algoritmos para variar a tensão de acordo com o estado do processo, obtendo assim, um menor tempo de aquecimento e de estabilização. Como este sistema é realimentado sofre menos influências às alterações externas do que sistemas similares em malha aberta.

Portanto, a solução de desenvolver um dispositivo de controle de temperatura utilizando uma placa Arduino, apresentou resultados satisfatórios em relação ao desempenho e custo.

Devido a flexibilidade do sistema de controle de temperatura, o sistema de malha fechada pode ser empregado em outros processos que exijam um controle de temperatura com alterações na temperatura e no coeficiente da equação do controle proporcional. Além disso, o sistema de controle de temperatura ainda pode ser aperfeiçoado com a substituição de periféricos que aumentem a acurácia do processo, ou a implementação de algoritmos de controle que satisfaçam as necessidades do processo, seja limitando a faixa de temperatura de trabalho ou acelerando o processo de estabilização da temperatura. O estudo possibilitou a verificação de métodos de controle de temperatura por meio de um dispositivo eletromecânicos e o desenvolvimento de um sistema de controle de baixo custo utilizando um micro controlador e que pode ser empregado em diversas atividades além da sintetização de polímeros à base de polímeros.

5. REFERÊNCIAS

- Arduíno. Disponível em: < <http://playground.arduino.cc/Main/DevelopmentTools> >. Acessado em 05 de dezembro de 2016.
- Ahmed, A. Eletrônica de Potência. Pearson Education do Brasil. 2000.
- Bayer, F.M. e Araújo, O. C. B. Controle Automático de Processos. 2011.
- BiodieselBR.com A bolha de glicerina. Disponível em: < <https://www.biodieselbr.com/noticias/colunistas/ramos/bolha-glicerina-24-06-07.htm> >. 2007. Acessado em 07 de dezembro de 2016
- Canevarolo Jr., Sebastião V. Ciência dos Polímeros: Um texto básico para tecnólogos e engenheiros. Artliber Editora. 2edição. 2006
- Dabove, D. A. C, et al. Desenvolvimento de polímeros a partir do glicerol. Anais da IV Jornada Científica. Embrapa São Carlos. Disponível em: < <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/98932/1/PROCI-11.00194.pdf> > 2011. Acessado em 07 de dezembro de 2016
- Godzinsky, Christian. DIY - Isolated High Quality Mains Voltage Zero Crossing Detector. Disponível em: < <http://www.dextrel.net/diyzerocrosser.htm> >. 2011. Acesso em 16 de janeiro de 2017
- Hage Jr. Elias. Aspectos Históricos sobre o Desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia de Polímeros. Polímeros: Ciência e Tecnologia. Universidade Federal de São Carlos. p.6-9. 1998.
- Mano, Eloisa Biasotto. Introdução a polímeros. 2ª edição revisada e ampliada. Edgard and Blücher, 2004.
- Marçon, R. O. Pré-tratamento da glicerina bruta gerada na produção de biodiesel por transesterificação de óleos vegetais e gordura animal. Dissertação (Mestrado em agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, 2010.
- Nogueira, D. da Silva e Alves, D. P. Transformadores de Potência – Teoria e Aplicação. Tópicos Essenciais. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2009.
- Ogata, Katsuhiko. Engenharia de Controle Moderno. 5ª Edição. Pearson Prentice Hall. São Paulo. 2010.
- Procel Indústria. Instrumentação e Controle: Guia Básico / Eletrobrás. Brasília. Disponível em: < http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2014/04/22/6281/Instrumentao_corrigido.pdf > 2008
- Souza, L. C de. et al. Análise da implementação do controle de temperatura em uma indústria automotiva. Disponível em: < <http://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos15/21622462.pdf> >. 2015. Acessado em 25 de janeiro de 2017
- Stanford Research Systems. Calibrate Steinhart-Hart Coefficients for Termistors Disponível em: < <http://www.thinksrs.com/downloads/PDFs/ApplicationNotes/LDC%20Note%204%20NTC%20Calculator.pdf> >. 2012. Acesso em 09 de fevereiro de 2017.
- Tehrani, K. A, Mpanda, A. PID control theory, introduction to PID controllers – theory, tuning and application to frontier areas. Intech. 2012. Disponível em <<http://www.intechopen.com/books/introduction-to-pid-controllers-theory-tuning-and-application-to-frontier-areas/theory-of-pid-and-fractional-order-pid-fopid-controllers>>. Acesso em 10 de fevereiro de 2017.
- Texas Instruments. MOC3020 thru MOC3023 optocouplers/optoisolators. Disponível em < <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/moc3020.pdf> >. 1998. Acesso em 24 de janeiro de 2017

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

LOW COST TEMPERATURE CONTROL SYSTEM FOR GLYCERIN BASED POLYMER SYNTHESIS

Edilson Gabriel Veruz, edilsonveruz@hotmail.com¹

Adriel Maier Farias, adrielmaier@gmail.com¹

Luciano Zart Olanyk, olanyk@utfpr.edu.br¹

Neri Volpato, nvolpato@utfpr.edu.br²

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Av. Professora Laura Pacheco Bastos, 800 - Bairro Industrial - 85053-510 - Guarapuava - PR - Brasil

²Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Deputado Heitor Alencar Furtado, 5000 - Ecoville CEP 81280-340 - Curitiba - PR - Brasil

Abstract: *The production of renewable fuels is an important alternative to fossil fuels, but may generate inconvenience. As an example, from the production process of biodiesel, glycerin is obtained as a byproduct and despite its use in various areas, the literature shows that the excess of glycerin results in economic and environmental problems. Great interest is observed in new applications for glycerin, including polymer synthesis. The polymerization reactions in a synthesis are restricted by various factors, including the reaction temperature. If the temperatures are below the specified, the reaction is incomplete and if above, the material may come to degrade. Here, it is proposed the development of a low cost system for the stabilization and control of the temperature for polymer synthesis. Initially, a commercial voltage regulator was used, with manual control (open loop) to evaluate parameters, such as stabilization time and power necessary to maintain the reaction temperature during the polymerization. Then, a system controlled by a low cost processor (closed loop), known as Arduino, was developed to replace the voltage regulator. This new system allowed the reaction temperature to be reached in 40 minutes, rather than the 160 minutes using the voltage regulator, and resulted in agility to the process. The system showed to be promising to assist in the synthesis, despite maintaining a temperature oscillation, in a 25°C range, measured during the reaction, needing to be adjusted. As a result, an capable system to assist in glycerin based polymer synthesis was obtained.*

Keywords: Control, Glycerin, Polymers.