

PROJETO OTIMIZADO DE UM CONTROLADOR PI UTILIZANDO TEORIA DE JOGOS: UM ESTUDO DE CASO PARA UMA PLANTA DIDÁTICA DE TEMPERATURA

Luana Rosa dos Santos – luanarosa2710@gmail.com

Igor Inácio Cirino – gor_inacio@windowslive.com

CEFET-MG, Campus III - Leopoldina, Engenharia de Controle e Automação

Rua José Peres, 558. Centro

36770-001 – Leopoldina – Minas Gerais

Marlon José do Carmo – marlon@cefetmg.br

CEFET-MG, Campus III - Leopoldina, Departamento de Eletroeletrônica

Rua José Peres, 558. Centro

36770-001 – Leopoldina – Minas Gerais

Resumo: Quando se fala no ensino de controle de processos em cursos de engenharia, duas questões emergem: o ensino da teoria de controle e suas aplicações práticas; a bibliografia empregada nos cursos de engenharia trabalha com técnicas e exemplos de plantas lineares, com apenas um elemento atuador e retroação unitária. Entretanto, na prática dos engenheiros que possuem esta área em sua formação, ele irá se deparar com não linearidades tais como atraso de transporte, histerese, cujas técnicas apresentadas nas disciplinas, não condizem com a dinâmica dessas plantas. Outra questão é que a academia apresenta várias técnicas de controle moderno, tais como modos deslizantes, controle robusto, e em muitos casos, diz que a utilização de controladores da família PID não possuem um bom comportamento para tratar de várias dinâmicas não lineares. Isto é uma verdade quando se analisa as técnicas de sintonia convencionais, já amplamente empregadas e disseminadas na academia para esse controlador. Contudo, é possível ter um controle satisfatório de plantas mais complexas com o controlador PID, se este vier aliado a técnicas de inteligência computacional ou no emprego da pesquisa operacional. Portanto, o objetivo deste trabalho é apresentar uma técnica de sintonia iterativa, aplicada em sala de aula para as turmas de controle de processos, baseada na teoria de jogos e no equilíbrio de Nash. Os resultados utilizando esta técnica se mostraram superiores em relação aos métodos tradicionais de sintonia aplicados a uma planta didática de temperatura. Outro aspecto explorado no trabalho foi a interdisciplinaridade com a pesquisa operacional, através da otimização.

Palavras-chave: Controle de Processos. Teoria de Jogos. Controlador PI. Arduino. Scilab.

1 INTRODUÇÃO

O ensino de controle de processos possui uma grande discussão na academia e eventos especializados, tais como o COBENGE. O debate se dá na forma como as disciplinas de controle de processos são apresentadas nos mais diversos cursos constituintes da área de engenharias IV no Brasil (como exemplo a Engenharia elétrica, Engenharia de Controle e Automação e Engenharia de Computação). Existe uma vertente de professores que as apresentam de forma muito abstrata através de conceitos matemáticos bem embasados e com



pouca conexão com mundo real. Há outra vertente, decorrente de algumas mudanças de paradigma internacional e de ápice no início do século XXI, que impactou no ensino de controle de processos no Brasil. Além disso, o barateamento de componentes eletrônicos discretos e um aumento expressivo da cultura “*maker*”, como o surgimento do Arduino, trouxe uma certa vantagem para a construção de kits a serem utilizados em sala de aula.

Os experimentos de laboratório afetam diretamente o processo de aprendizagem, e em muitos casos, os conceitos inerentes à educação em controle de processos são apresentados sob a ótica da simulação, deixando para um segundo plano problemas reais como não linearidades, ruídos, mudança de parâmetros da planta a ser controlada ou erro de quantização de sistemas embarcados. A questão laboratorial no ensino de controle se torna ainda mais importante na sociedade atual, pois suas aplicações estão cada vez mais destacadas desde a indústria de manufatura até os elementos de consumo do dia a dia, como máquinas de lavar, sistemas de amortecimento eletrônicos de veículos.

Sob essa perspectiva, percebe-se que a educação em controle deve ultrapassar a abstração inerente à disciplina, para uma perspectiva laboratorial que permita, além de verificar estes conceitos abstratos, elencar conceitos mais realísticos. Algumas mudanças foram verificadas nos livros mais utilizados no ensino de controle de processos, tais como Ogata (2015). Outras bibliografias como Nise (2012), inseriram exemplos em seus exercícios mais voltados para aplicações reais. Contudo, deve-se perceber que esses exemplos ainda são lineares, isentos de ruídos e monovariáveis, quando, na maioria dos casos os sistemas de controle são não lineares, não imunes a ruídos e multivariáveis.

Gomes e Silveira (2007) apontam que é um consenso na educação em engenharia, no âmbito do controle de processos, que esse deve produzir uma base de aprendizado contínua que permita o engenheiro lidar com sistemas de controle complexos, crescentes e de forma cada vez mais interdisciplinar. Com isso, a proposta deste trabalho é apresentar uma experiência laboratorial em um curso de Engenharia de Controle e Automação, onde o aluno teve que desenvolver o conceitos de controle de processos tais como: modelagem do processo por identificação, a qual permite inserir não linearidades como atraso de transporte, tratar ruídos, projeto de controladores e a usabilidade de questões interdisciplinares como a teoria de jogos para otimização dos parâmetros do controlador. Desta forma, foi construído, com material de baixo custo, uma planta de temperatura com ventoinhas disponíveis em computadores mais antigos, lâmpada e caixa de isopor. Para controlar a planta foi utilizado o software Scilab com a comunicação externa realizada por um Arduino Mega. Foram testados, baseado na modelagem por identificação, métodos de sintonia para controladores PI (Proporcional + Integral) e comparou-se estes métodos com uma sintonia iterativa por teoria de Jogos, baseado no equilíbrio de Nash, mostrando-se o último método superior tanto na questão de sobrelevação quanto em tempo de assentamento, sob a ótica do controle servo.

O trabalho está dividido em seções, sumarizadas: a seção dois apresentará a importância da otimização dos controladores PID; assim, a seção três apresenta a metodologia e resultados; por último, a seção quatro conclui-se este trabalho.

2 A IMPORTÂNCIA DA OTIMIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DO CONTROLADOR PID

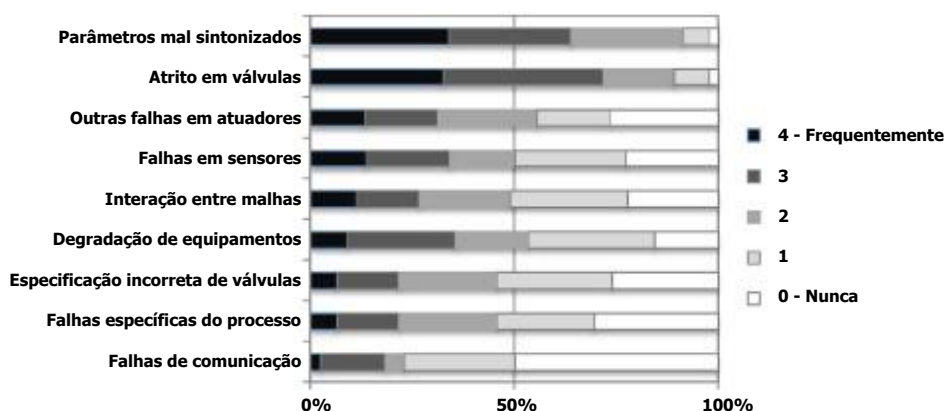
O controlador PID (Proporcional + Integral + Derivativo) é o mais utilizado em malhas de controle, devido à sua eficiência, facilidade de implementação e vasta aplicabilidade. Contudo, a sintonia de controladores PID também apresenta dificuldades. Muitos ajuste desse controlador são realizados manualmente e consomem tempo. A fim de utilizar de forma



eficiente o controlador PID, a sintonia ótima de seus parâmetros se tornou uma área significativa de pesquisa.

De acordo com estudo realizado por (BAUER et al., 2016) a respeito da análise de desempenho de malhas de controle, em nível mundial, os principais problemas encontrados em auditoria estão apresentados na Figura 1, onde verifica-se que a má sintonia de controladores é o motivo frequente para o mal comportamento de malhas.

Figura 1 - Principais problemas encontrados em auditorias de malhas de controle



Fonte: Adaptado de: (BAUER et al., 2016).

Ao longo dos anos, muita pesquisa tem sido realizada com o objetivo de ajustar os parâmetros do controlador. As metodologias mais populares para sintonia PID, em aplicações industriais podem ser classificadas como: métodos empíricos como Ziegler-Nichols e Cohen-Coon (CARMO, 2006); métodos analíticos como *Root Locus* e resposta em frequência (NISE, 2012)

Os métodos empíricos têm a vantagem de aplicar regras fáceis a modelos matemáticos simples, apesar de não produzirem resultados tão bons quanto esperado. Os métodos analíticos podem lidar com modelos de ordens superiores, são mais precisos e tem a vantagem de melhorar parâmetros específicos do sistema, como estabilidade, tempo de subida, erro em regime permanente, sobrelevação, etc.

Métodos metaheurísticos vem sendo utilizados nos últimos anos para sintonia de parâmetros PID. Estes métodos buscam encontrar uma resposta otimizada para o problema debatido no espaço de busca, inspirados na natureza, em processos evolutivos, inteligência computacional ou técnicas de Pesquisa Operacional tais como Teoria dos Jogos. Alguns métodos metaheurísticos para problemas de otimização são Algoritmos Genéticos, Otimização por Enxame de Partículas, Colônia de Formigas, Recozimento Simulado, dentre outros algoritmos que são a integração ou modificação destes (GOLDBARG; LUNA, 2005), ou Teoria de Jogos (FIANI, 2015).

2.1 A Teoria dos Jogos

Alguns estudiosos afirmam que o método, utilizado por Cournot, para a solução de seu modelo de duopólio teve o mesmo embasamento da metodologia desenvolvida por John Forbes Nash Junior (1928 - 2015) para a solução de equilíbrio em jogos não-cooperativos, o Equilíbrio de Nash. No modelo de duopólio de Cournot duas empresas produzindo um bem homogêneo decidiam qual quantidade cada uma iria produzir, sabendo que a quantidade que a outra produzisse afetaria seus lucros. Cournot derivou uma solução em que as duas empresas decidiam produzir quantidades que eram compatíveis entre

si. O matemático alemão Ernest Friedrich Ferdinand Zermelo (1871-1953) foi outro importante precursor da teoria dos jogos, demonstrando que o jogo de xadrez sempre tinha uma solução (independente da ação dos jogadores um deles sempre tem uma estratégia vitoriosa) (FIANI, 2015).

Félix Edouard Justin Emile Borel (1871-1956), matemático francês, teve uma grande importância no desenvolvimento da teoria de jogos estratégicos. Borel foi responsável pela formulação do conceito de estratégia, a qual nomeou "Método de Jogo" (FIANI, 2015). Borel esteve interessado no estudo de jogos estratégicos, os quais dependem simultaneamente da sorte e da habilidade dos jogadores. Ele afirmou que a solução de problemas de probabilidade e análise com relação à especulações financeiras ou econômicas ou à arte da guerra, por exemplo, são análogos aos problemas que dizem respeito aos jogos, em geral, apesar desses últimos não serem tão complexos. Não há dúvidas de que todos os estudiosos supracitados tiveram grande importância no desenvolvimento da teoria dos jogos, porém, a origem desta teoria surgiu através do matemático húngaro John Von Neumann (1903-1957). Quando em 1928 fez sua primeira publicação relacionada à Teoria dos Jogos, *Zur Theorie der Gesellschaftsspiele* (Sobre a Teoria dos jogos de estratégia). Nesta publicação Neumann, demonstrou que se utilizando técnicas matemáticas pode-se determinar a solução de jogos de soma zero, nestes jogos, o sucesso de um jogador representa o fracasso do outro. Mais tarde, Neumann – em coautoria com o alemão Oskar Morgenstern (1902- 1977) – publicou o livro *The Theory of Games and Economic Behavior*, onde, além de outras definições, foi desenvolvida a análise dos jogos de soma zero (FIANI, 2015).

Este livro, apesar de ter sido muito importante para o desenvolvimento da Teoria dos Jogos, tinha uma agravante: a concentração em jogos de soma zero. A Teoria dos Jogos de soma zero não pode ser utilizada na análise da grande maioria de interações estratégicas, sejam entre empresas, entre grupos e organizações sociais, em guerras etc, uma vez que esta é uma teoria restritiva. Sendo assim, era preciso desenvolver ferramentas teóricas que permitissem analisar uma maior variedade de modelos de interação estratégica.

Então, a partir de 1950 através das contribuições de John F. Nash Junior, John C. Harsanyi e Reinhard Selten, a Teoria dos Jogos começou a contar com uma série de ferramentas que muito contribuíram com o seu sucesso e fizeram com que esses três estudiosos fossem premiados com o Nobel de Economia em 1994. Já no ano de 1951, o americano John Forbes Nash Junior, um dos mais importantes matemáticos do século XX, publicou a tese *Non-Cooperative Games* (Jogos não-Cooperativos) provando a existência de ao menos um ponto de equilíbrio em jogos de estratégias para múltiplos jogadores, que devem se comportar racionalmente e não se comunicarem antes do jogo, a fim de evitar acordos. Através dessa noção de equilíbrio, em jogos, foi possível ampliar os estudos para vários tipos de situações com interações estratégicas, não se restringindo a jogos de soma zero. John C. Harsanyi (1920-2000), economista húngaro e contemporâneo de John F. Nash, teve, também, uma grande importância para o desenvolvimento da Teoria dos Jogos. Esse estudioso, através da publicação de três artigos, "*Games with Incomplete Information Played by "Bayesian" Players, Parts I, II and III*" afirmou a existência de interações com *informações assimétricas*, nestas interações alguns agentes podem dispor de alguma informação privilegiada em relação aos demais sobre algum elemento importante do jogo (FIANI, 2015).

2.2 Adoção da forma Estratégica ou Normal para representar Jogos Simultâneos

A forma estratégica ou normal é a maneira mais simples de se representar os jogos simultâneos. Neste tipo de jogo, os agentes (quando tomam suas decisões) não se importam com as decisões dos demais jogadores, além de não se preocuparem com as consequências futuras de suas escolhas (FIANI, 2015). A Tabela 1 apresenta a representação de um jogo na forma Estratégica. Como se pode perceber as estratégias do jogador "Sobreelevação" (OS) estão listadas nas linhas enquanto as estratégias do outro jogador "Tempo de assentamento" (Ts) estão listadas nas colunas. As recompensas (*Payoff*) dos jogadores (OS e Ts) são representados nas células.

Tabela 1-Representação do Jogo entre os jogadores Ki e Kp (Parâmetros de sintonia de um controlador PI)

Ki	Kp	
	Aumentar Kp em 10%	Diminuir Kp em 10%
Aumentar Ki em 10%	$Ki(k) = 1,1Ki(k-1)$ $Kp(k) = 1,1Kp(k-1)$ Payoffs (OS e Ts)	$Ki(k) = 1,1Ki(k-1)$ $Kp(k) = 0,9Kp(k-1)$ Payoffs (OS e Ts)
Diminuir Ki em 10%	$Ki(k) = 0,9Ki(k-1)$ $Kp(k) = 1,1Kp(k-1)$ Payoffs (OS e Ts)	$Ki(k) = 0,9Ki(k-1)$ $Kp(k) = 0,9Kp(k-1)$ Payoffs (OS e Ts)

Fonte: os autores.

Sendo assim, a forma estratégica nos fornece todas as combinações possíveis de ações dos jogadores, assim como seus resultados: ela nos informa quem fez o quê e quanto conseguiu, em função de suas escolhas e das escolhas dos outros jogadores. É a forma mais conveniente de se modelar um jogo simultâneo com dois jogadores.

3 METODOLOGIA E RESULTADOS

A planta utilizada neste trabalho possui uma lâmpada, com tensão constante, que se encontra dentro de uma caixa de isopor, sendo a fonte de calor da planta de temperatura. Ainda nesta caixa de isopor tem-se duas ventoinhas, sendo uma em funcionamento como exaustor e outra como ventilador, gerando, assim, variação de temperatura dentro da caixa de isopor que fica fechada por uma tampa superior. As Figuras 2A e 2B apresentam a configuração da planta de temperatura.

Figura 2 – A) Parte interna da caixa de isopor; B) Parte externa da caixa de isopor



A)

Fonte: os autores

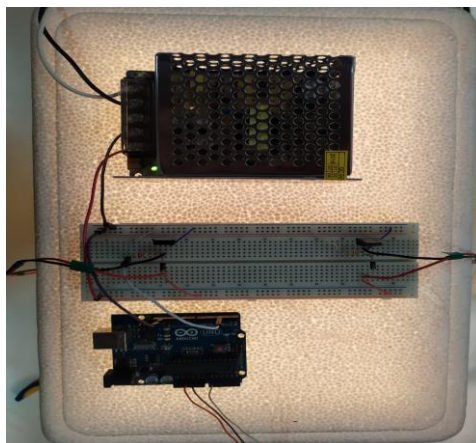


B)

Fonte: os autores

O controlador PI irá atuar, através de um Arduino, nas duas ventoinhas através de um transistor TIP 122, e a temperatura é medida no interior da caixa de isopor através do sensor de temperatura LM 35. A Figura 3 apresenta o circuito de acionamento e medição de temperatura ligados aos à ventoinha na caixa. Uma fonte de 12V garante a alimentação das ventoinhas, com chaveamento do TIP 122. O Arduino também será responsável por medir a temperatura da caixa de isopor pelo LM 35, através de uma porta analógica.

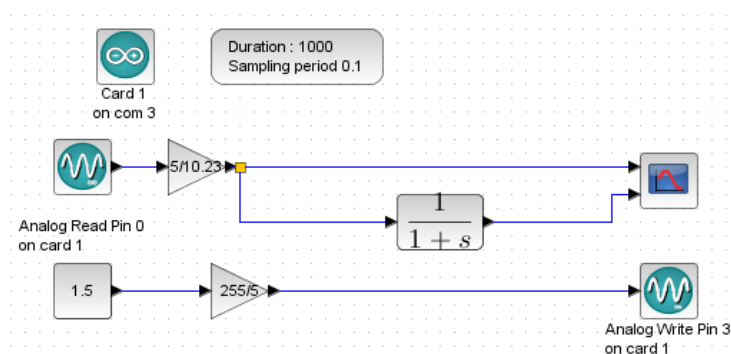
Figura 3 – Circuito de acionamento da ventoinha e medição de temperatura



Fonte: os autores

A malha de controle é fechada internamente no Scilab para o controle em malha fechada e se tem o sistema de medição em malha aberta para a identificação pelo método FODT (*First Order Delay Time* – primeira ordem mais tempo morto). O modelo de identificação será necessário para o ajuste preliminar do controlador de forma a iniciar o processo de otimização. O Scilab (versão Windows) possui uma *toolbox* (Atoms) que permite realizar acionamentos e leituras das portas digitais e analógicas do Arduino. Carrega-se um software de comunicação pela porta serial disponível no site oficial do Scilab. Para o experimento foi utilizado o Scilab versão 6.0.2. Para identificação do modelo FODT (também denominado de curva de reação) da planta foi montado no XCOS do Scilab. Foi utilizado um filtro de primeira ordem pois as ventoinhas tornam o processo muito ruidoso. A Figura 4 apresenta o diagrama de blocos do sistema em malha aberta para modelagem da planta.

Figura 4 – Diagrama de blocos para medição da curva de reação

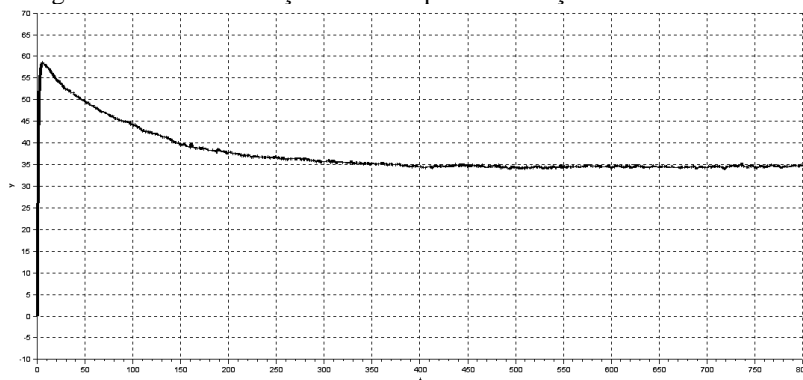


Fonte: os autores



A saída PWM (*Pulse Width Modulation* – Modulação por largura de pulso), responsável pelo acionamento das ventoinhas, possui uma variação de 0 a 5 V. Portanto, observa-se, na Figura 4, um valor de referência de 1,5 V. Este valor é responsável por uma temperatura de estabilização de 35 °C para uma temperatura ambiente de 27 °C. A Figura 5 apresenta a curva de reação obtida.

Figura 5 – Curva de reação utilizada para a obtenção do modelo FODT



Fonte: os autores

Observa-se pela Figura 5 que para o valor de referência de 1,5 V, a temperatura possui um transitório com o valor de pico de 58 °C, estabilizando em 35 °C em aproximadamente 325 segundos. Para a modelagem FODT utilizou-se o método de identificação de Smith (CARMO, 2006), em que se mede o tempo em que ocorre 63% e 28% do valor de estabilização. De posse destes tempos, calcula-se a constante de tempo do sistema e o tempo de atraso. Os valores encontrados para o tempo de 63% e 28% foram de 140 seg e 40 seg respectivamente. O modelo FODT sofreu adaptação para representar uma função monotônica decrescente, com valor inicial não nulo e o atraso de transporte foi avaliado por inspeção, sendo 5 seg. Aplicando-se (1), obtém-se o seguinte modelo (2) em (3):

$$\tau = 1,5(t_{63\%} - t_{28\%}) \quad (1)$$

$$G(s) = \text{Valor inicial} - \frac{k}{\tau s + 1} e^{-Ls} \quad (2)$$

$$G(s) = 58 - \frac{23}{150s + 1} e^{-5s} \quad (3)$$

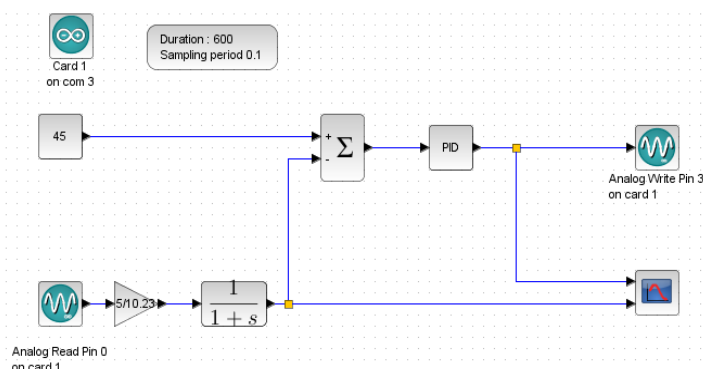
Utilizando-se do modelo FODT adaptado foi aplicado as Equações de sintonia, expressas por (4) e (5), utilizando-se o método de Ziegler e Nichols (CARMO, 2006), de forma a calcular K_p e K_i .

$$K_p = \frac{0,9\tau}{(kL)} \quad (4)$$

$$K_i = \frac{K_p}{3,33L} \quad (5)$$

Após calcular-se K_p e K_i , fechou-se a malha de controle no Scilab, adotando-se um valor de referência de 45 °C. Nota-se ainda a presença de um filtro de primeira ordem, por se tratar de um processo ruidoso. A Figura 6 apresenta a malha fechada no Scilab.

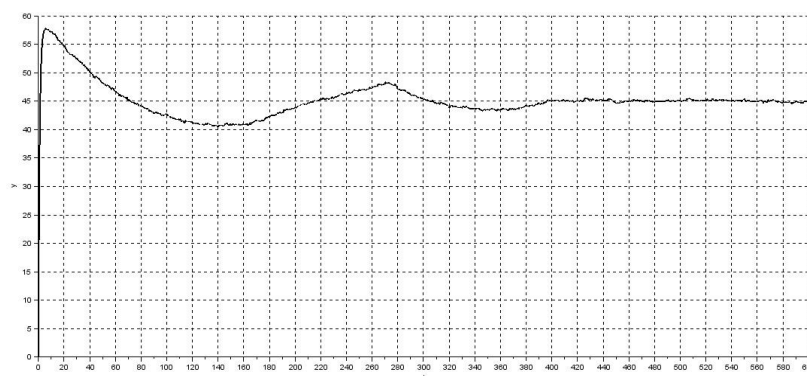
Figura 6 – Malha fechada no software Scilab



Fonte: os autores

A Figura 7 apresenta a malha controlada para uma referência de 45 °C e o método de Ziegler e Nichols.

Figura 7 – Planta controlada pelo método de Ziegler e Nichols para uma referência de 40°C

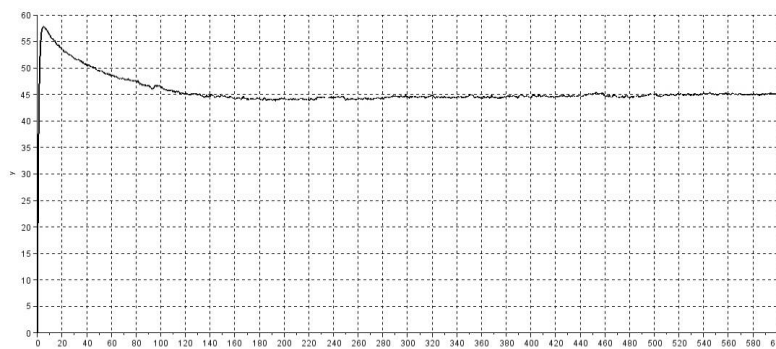


Fonte: os autores

Observa-se que a resposta se mostrou oscilatória, com a presença de saturação do controlador pois, a descida do primeiro pico teve um comportamento não senoidal, com uma sobre-elevação de 5 °C, levando 400 seg para a estabilização. Outros métodos foram testados, tais como Cohen-Coon, CHR 0%, CHR 20% (CARMO, 2006), não obstante, não produziu resultados muito satisfatórios. Contudo, os valores de 5 °C de sobre-elevação e 400 seg de tempo de assentamento foram utilizados como valores iniciais para obtenção da primeira iteração da tabela da Teoria de Jogos na forma Normal. E foi simulado a estrutura de controle com o modelo da planta para 50 iterações utilizando a estrutura da Tabela 1. E observou-se que o equilíbrio de Nash (melhor situação para a sobre-elevação e tempo de assentamento, que são os jogadores) ocorre para o caso superior esquerdo da Tabela 1, ou seja, aumentar K_p e K_i em 10%. Este fato ocorreu em todas as 50 iterações, sendo que na última a sobre-elevação (OS) foi zero e o tempo de assentamento (T_s) foi igual a 110 seg, melhores que os método de sintonia investigados. A Figura 8 apresenta o resultado controlador para a otimização da teoria de jogos.



Figura 8 – Resultado a malha fechada na 50ª iteração da teoria de jogos



Fonte: os autores

4 CONCLUSÕES

Apresentou-se neste trabalho a aplicação didática, em laboratório de controle automático de processos, o controle de uma planta de temperatura, utilizando o software Scilab, integrado através de um Arduino. Foi explorado métodos de sintonia que permitissem avaliar na prática conceitos abstratos estudados na teoria de controle, de forma a diminuir a distância teoria versus prática. Para os métodos de sintonia tradicionais explorados neste trabalho verificou-se que o método de Ziegler e Nichols apresentou uma piora na resposta dinâmica nos requisitos sobre-elevação, e tempo de assentamento em relação à resposta de malha aberta, além de apresentar oscilação. Os outros métodos investigados (CHR, Cohen-Coon, Haalman), apresentaram melhora no tempo de assentamento, mas mantiveram sobre-elevação. Por fim, o método proposto, baseado na teoria dos jogos, melhorou no aspecto da sobre-elevação, e no tempo de assentamento. Adicionalmente foi explorado a pesquisa operacional de forma interdisciplinar, através da teoria de jogos não cooperativos e a execução de uma otimização utilizando o conceito de equilíbrio de Nash, onde os jogadores foram a sobre-elevação e tempo de assentamento, onde normalmente, na teoria convencional se um é maior o outro é menor. Contudo, foi explorado pela teoria uma região que fosse possível os dois “ganharem”. Os autores consideram que o trabalho contribuiu para melhorar esta relação teoria versus prática tão complicada nas disciplinas de controle aliado à questão de interdisciplinaridade. Contudo, uma investigação da forma de implementação embarcada proporcionará, em trabalhos futuros, uma possível aplicação comercial da teoria aqui desenvolvida, permitindo uma sintonia otimizada de controladores PID para as mais diversas plantas.

Agradecimentos

Os Autores agradecem à FAPEMIG pela bolsa de iniciação científica, bem como o CEFET-MG pelo suporte.

REFERÊNCIAS

BAUER et al. Control loop performance monitoring: ABB's experience over two decades. **IFAC-PapersOnLine**. V. 49 n. 7, p. 526-532, 2016

CARMO, M. J. do. **Ambiente educacional multifuncional integrado para sintonia e avaliação do desempenho de malhas industriais de controle**. 2006. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2006.



FIANI, R. R. **Teoria dos Jogos**. Editora GEN Atlas, 2015.

GOLDARG, M.; LUNA, H. **Otimização Combinatória e Programação Linear**. 2ª Edição, São Paulo: Elsevier, 2005.

GOMES, F. J.; SILVEIRA, M. A. Luiz. Experiências Pedagógicas. In: AGUIRRE, L. A. (org.). **Enciclopédia de Automática**. vol 1. São Paulo: Ed. BLUCHER, 2007. p. 64-81.

NISE, N. S. **Engenharia de Sistemas de Controle**. 6ª edição, São Paulo: Editora LTC, 2012.

OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**. 5ª edição, São Paulo: Pearson, 2015.

OPTIMIZED DESIGN OF A PI CONTROLLER USING GAME THEORY: A CASE STUDY FOR A TEACHING TEMPERATURE PLANT

Abstract: *When it comes to teaching process control in engineering courses, two issues emerge: the teaching of control theory and its practical application; the bibliography used in engineering courses works with techniques and examples of linear plans, with only one element and unitary feedback. However, in the practice of engineers who have this area in their training, they will encounter non-linearities such as transport delay, hysteresis, whose techniques presented do not match the dynamics of these plants. Another issue is that the academy has several modern control techniques, such as sliding modes, robust control, and in many cases, says that the use of PID family controllers does not have a good behavior to deal with various dynamics inherent to the practical question. This is true when analyzing the conventional tuning techniques, already widely used for this controller. However, it is possible to have a satisfactory control of more complex plants with the PID controller, if it comes together with computational intelligence or operational research techniques. Therefore, the objective of this work is to present an iterative tuning technique, applied in the classroom for process control classes, based on game theory and Nash equilibrium. The results using this technique proved to be superior in relation to the traditional tuning methods, showing, still, a practical application in a temperature plant and the interdisciplinarity with the operational research.*

Keywords: *Process Control. Game Theory. PI Controller. Arduino. Scilab.*