

8º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

OTIMIZAÇÃO DO USO DE ENERGIA EM PLATAFORMA DE DETECÇÃO DE INCRUSTAÇÕES

AUTORES:

Marcus Marinho Bezerra¹, Jaidilson Jó da Silva², José Sergio da Rocha Neto²

INSTITUIÇÃO:

Bolsista PRH-42 ANP, marcus.bezerra@ee.ufcg.edu.br, ¹ Unidade Acadêmica de Engenharia de Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande, ² Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande

OTIMIZAÇÃO DO USO DE ENERGIA EM PLATAFORMA DE DETECÇÃO DE INCRUSTAÇÕES

Abstract

Fouling detection is a persistent and relevant problem for the chemical, oil, food and pharmaceutical industries. The fouling process is the slow, unwanted layer deposition of heavy organic and other dissolved solid material out of transported fluids or suspensions onto inner wall surfaces in fluid transport system over an extended period of time. [1-2]. The existence of fouling can significantly affect the efficient use of energy supplied to the system, which in this case comes from an electric machine. Focusing on energy efficiency, this work proposes an improvement for fluidic transport systems, which in the oil, natural gas and biofuels takes place, more precisely, in the transport of liquids. The objective of this study is to find the best operating point regarding the use of the energy supplied to a fluid transportation system, and also establish what the relationship between the power supply and the presence of fouling in the ducts. For this purpose, an interface was developed using LabVIEW software in order to group the information provided by the sensors, monitor the physical quantities associated with the process in question and send commands to the actuators can modify these quantities. With the data's acquisition it was possible to identify the dynamic open loop system and thereafter applying controllers tuning techniques in order to choose one to produce satisfactory answers to analyze the behavior of the platform. Possession of values, imported the data collected for the MATLAB software via the System Identification Toolkit Tool, where it was possible to estimate the parameters of the plant model in the frequency domain, thereby obtaining a first order model with delay. Overall, the tuning technique that presented the best answer was the Internal Model Control. Regarding the objectives of the work in question, the results so far, these are partial results. In the next step, to properly instrumented and controlled platform, we intend to conduct analyzes aimed at energy losses caused by the presence of fouling.

Keywords: Fouling, Energy Efficiency, Tuning Methods.

Introdução

Estudos direcionados à detecção e controle de incrustações tem sua relevância, não sendo esta de modo exclusivo, para a indústria petrolífera, pois esta consiste em deposições de materiais orgânicos pesados e de outros sólidos dissolvidos ou em suspensão em sistemas de transporte fluídico, sendo assim um problema pertinente para as refinarias de petróleo quando analisados os processos produtivos atrelados às mesmas.

As incrustações vão reduzindo gradativamente a eficiência global dos processos e degradando a vida útil dos equipamentos. A existência da incrustação pode afetar de maneira significativa o uso eficiente da energia fornecida ao sistema, que nesse caso provém de uma máquina elétrica [3].

Devido às graves consequências econômicas acarretadas, a preocupação com incrustações trouxe uma grande quantidade de atividade de pesquisa para as indústrias, procurando-se desenvolver medidas preditivas e preventivas por meio do conhecimento sobre os mecanismos e os fatores associados à incrustação, tais como variações na vazão, na pressão e na temperatura nas tubulações [4].

Grande parte dos sistemas industriais, inclusive os de transporte de fluidos, apresentam uma alta complexidade e consequentemente isso proporciona uma maior dificuldade para uma modelagem matemática condizente aos sistemas. Desse modo, muitos engenheiros utilizam ferramentas computacionais de alto desempenho direcionado para o cálculo numérico com o objetivo de obter modelos aproximados para os sistemas em questão. Além disso, técnicas clássicas de identificação de sistemas, como por exemplo, a resposta ao degrau proposta por Ziegler e Nichols, podem apresentar soluções satisfatórias para o desempenho de alguns sistemas em determinadas aplicações. [5]

Na indústria de processos, o controlador PID (Proporcional, Integral e Derivativo) é um dispositivo de controle marcante, com implementações em sistemas embarcados, controladores lógicos programáveis, sistemas de controle distribuído ou em softwares comerciais. Do ponto de vista da simplicidade e eficiência, o controlador PID representa uma solução dinâmica satisfatória no controle de um grande número de aplicações industriais [6].

Diante do exposto, este trabalho objetiva avaliar a influência das incrustações no consumo de energia elétrica além de otimizar o uso desta em um plataforma de detecção de incrustações.

Metodologia

Materiais

Foi utilizada uma plataforma que é designada para realização ensaios de relacionados com a formação, identificação e controle de incrustações desenvolvida no Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle (LIEC) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

Essa plataforma é caracterizada como um sistema de monitoramento distribuído e é composta por tubos de aço galvanizado, válvulas manuais, uma bomba centrífuga que é controlada por um inversor de frequência, uma válvula eletrônica de controle do tipo globo.

Para o controle e monitoração dos parâmetros de interesse, foi realizada a instrumentação da plataforma por meio de sensores de vazão, pressão e temperatura. A aquisição dos dados provenientes dos sensores foi feita através de um Controlador Lógico Programável (CLP) que estabelece uma comunicação com o software LabVIEW por meio de um servidor OPC. Além disso, o CLP é o responsável por receber os dados de controle, processados no LabVIEW, e enviá-los para os atuadores (inversor de frequência e válvula eletrônica de controle).

Uma fotografia da plataforma de testes é apresentada na Figura 1.

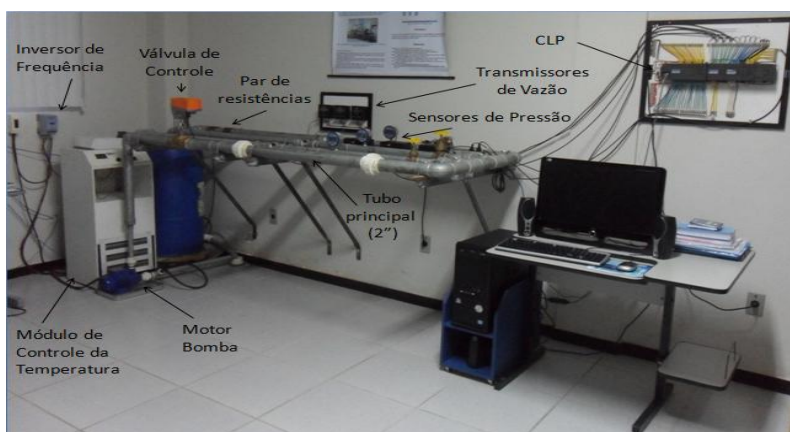


Figura 1: Fotografia da Plataforma de Detecção de Incrustação.

Métodos

Identificação do Modelo Matemático da Plataforma

Para o fechamento de cada malha de controle, é essencial encontrar o modelo respectivo da planta. Como a grande maioria dos sistemas reais podem ser satisfatoriamente representados por modelos de primeira ou segunda ordem com atraso de transporte (FOPDT ou SOPDT), visto a facilidade de explicitar a dinâmica da planta de maneira simplificada, utilizou-se então, da teoria de identificação de sistemas em malha aberta para obter os modelos das plantas em estudo [5].

Com a aquisição dos dados obtidos da resposta da vazão no tubo principal (tubo de 2") a alguns estímulos do tipo degrau por meio do inversor de frequência (que por sua vez atua diretamente na bomba centrífuga), foi possível realizar a identificação em malha aberta do sistema dinâmico. De posse dos valores obtidos, importou-se os dados coletados para o software MATLAB por meio do *Toolkit System Identification Tool* (Figura 2), onde foi possível fazer a estimação dos parâmetros do modelo da planta no domínio da frequência, obtendo assim um modelo de primeira ordem com atraso.

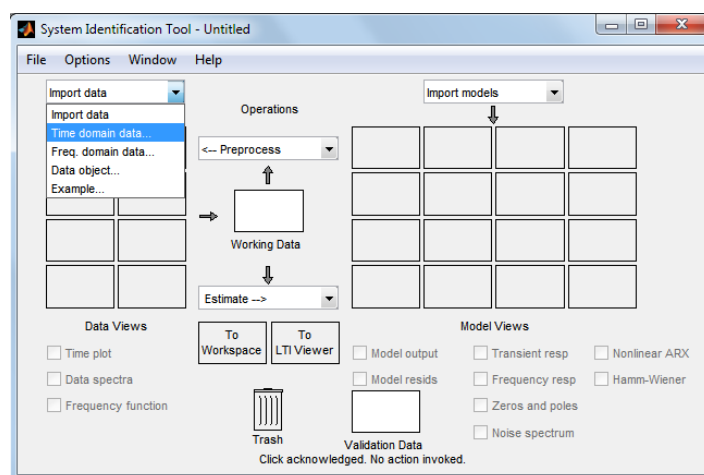


Figura 2: Tela principal da função *Ident*.

Projeto do Controlador

Com o modelo matemático definido, foi possível aplicar técnicas de sintonia de controladores com a finalidade de escolhermos aquele que apresentasse respostas satisfatórias para a análise do comportamento da plataforma.

Dentre as técnicas de sintonia baseadas em aproximação de modelos de plantas para sistemas de primeira ordem com atraso, foram escolhidas sete técnicas. São elas:

- Método da Curva de Reação, proposto por Ziegler-Nichols (ZN);
- Método de Cohen-Coon (CC);
- Método de Chien, Hrones e Reswick (CHR), para 0% de sobressinal;
- Método de Chien, Hrones e Reswick (CHR), para 20% de sobressinal;
- Métodos de Otimização IAE, como o proposto por Rovira, para variação do sinal de referência;
- Métodos de Otimização ITAE, como o proposto por Rovira, para variação do sinal de referência;
- Internal Model Control (IMC);

Implementação do Controlador

Obtidos os valores dos parâmetros dos controladores e seus respectivos índices de desempenho, é possível selecionar aquele controlador que possui um melhor comportamento, observando-se os menores índices de desempenho [7].

A implementação do controlador foi feita em uma interface no software LabVIEW, onde o operador pode trabalhar com o controle manual ou o automático (controle PID) e também monitorar as grandezas físicas do sistema (vazão, pressão e temperatura).

Resultados e Discussão

Inicialmente, foram realizados vários experimentos com o intuito de colher dados e assim poder levantar modelos matemáticos para o sistema e então selecionar aquele mais adequado. Várias modelagens foram realizadas por meio do software MATLAB utilizando-se o *Toolkit System Identification Tool*. Como pode-se ver na Figura 3, o *Ident* apresenta o valor percentual das curvas com relação à curva original, obtida experimentalmente. Sendo assim, o modelo que apresentou maior percentual (94,15%) foi o escolhido. Na Tabela 1 são apresentados os resultados dos modelos matemáticos obtidos.

Com os parâmetros escolhidos da função de transferência da planta, foram desenvolvidas rotinas implementadas no MATLAB para o projeto dos controladores. Na Tabela 2 estão representados os parâmetros encontrados para cada método de sintonia e seus respectivos índices de desempenho para rastreamento do sinal de referência (SR).

Os índices de desempenho escolhidos para realizar-se uma análise comparativa entre os controladores foram: tempo de subida (t_s), tempo de estabilização (t_s), sobressinal (M_p), tempo de pico (t_p), Integral do Erro Absoluto (IAE), Integral do Tempo multiplicado pelo Erro Absoluto (ITAE) e Integral Quadrática do Erro (ISE). Sendo assim, o método de Otimização ITAE proposto por Rovira foi a técnica de sintonia escolhida por apresentar menor tempo de estabilização além de apresentar um sobressinal aceitável (menor que 5%).

Na Figura 4 são apresentadas as respostas ao degrau dos sistemas em malha fechada com os controladores PI. Pode-se perceber que nos controladores PID (Figura 5) a ação derivativa torna mais agressivo o sinal de controle sobre o sistema ao analisar-se a resposta ao degrau dos sistemas em malha fechada, sendo assim, optou-se por usar o controlador PI.

Tabela 1 - Dados de modelos de primeira ordem para os experimentos realizados.

Percentual [%]	K	L	τ
83,52	0,61782	4,658	7,4518
85,45	0,61789	5,4429	6,4
86,86	0,61807	6,6158	4,1687
87,70	0,61889	6,6158	4,4774
88,00	0,61804	7,3266	4,15
88,26	0,61806	7,6925	3,7407
93,09	0,62037	9,0826	4,15
93,10	0,62049	9,2267	7,4518
93,61	0,62046	9,3682	3,4418
94,15	0,62044	9,1766	6,4

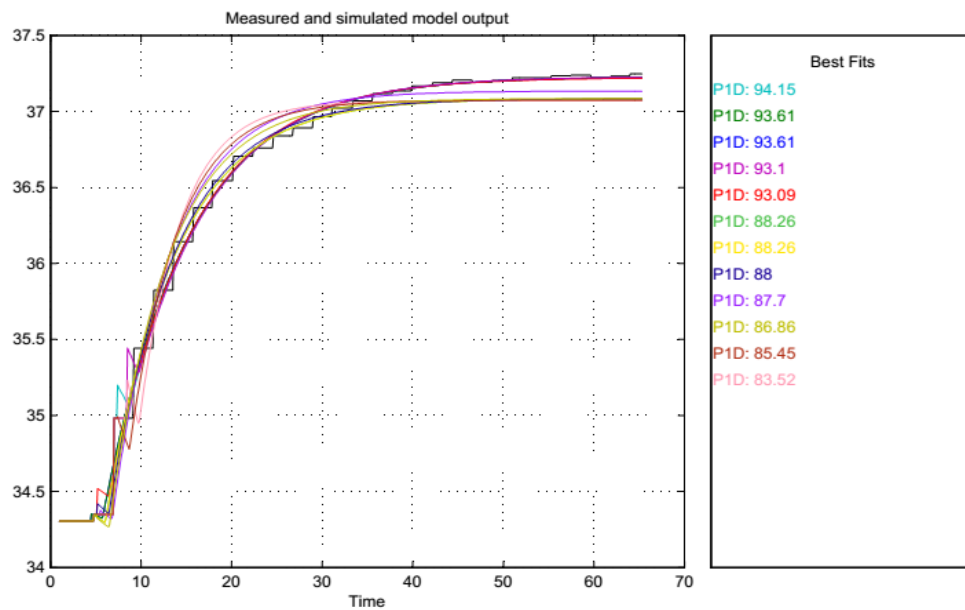


Figura 3: Respostas ao degrau e percentuais dos modelos matemáticos.

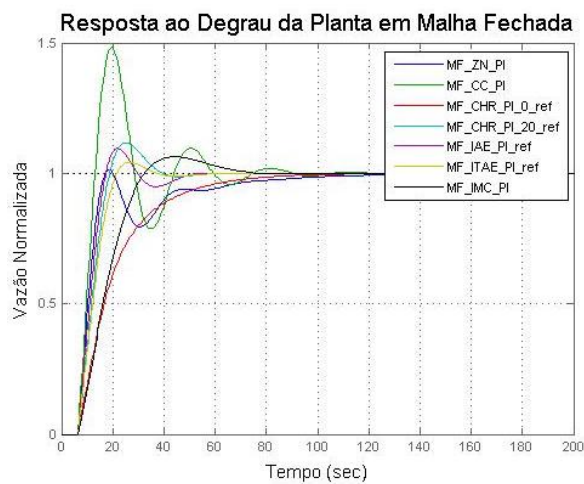


Figura 4: Resposta ao degrau do sistema em malha fechada projetado com o controlador PI.

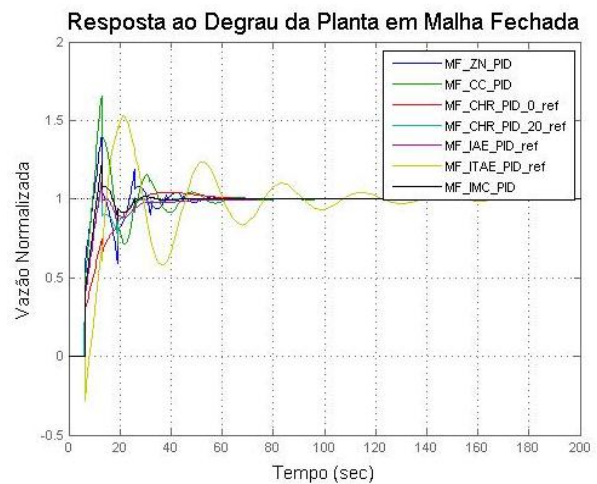


Figura 5: Resposta ao degrau do sistema em malha fechada projetado com o controlador PID.

Tabela 2 - Controladores PI propostos e o índices de desempenho.

Técnica de Sintonia	Parâmetros				Índices de Desempenho				
	Kc	Ti	tr	ts	Mp	tp	IAE	ITAE	ISE
ZN	2,0799	21,12	7,4347	90,0241	1,4581	18,7467	16,4141	355,1003	9,6769
CC	2,2137	8,8795	5,2931	71,5512	48,1568	19,6177	18,0391	313,0708	10,8041
CHR 0% (SR)	0,8089	11,0119	34,3176	73,5738	0	234,6581	21,9417	380,5908	14,0051
CHR 20% (SR)	1,3866	9,1766	9,2558	36,3914	11,6589	24,9402	13,4567	121,8231	10,1128
Otimização (Rovira - IAE)	1,6662	11,5468	8,1469	45,7319	9,52	22,0376	12,6041	109,7675	9,5898
Otimização (Rovira - ITAE)	1,3139	10,0299	10,7236	32,7152	4,2603	26,5675	13,0975	105,2487	10,3145
IMC	0,6622	6,4	18,404	63,6367	6,369	44,0257	18,5446	242,1265	13,2623

Por fim, foi implementada uma interface no software LabVIEW, onde o operador pode trabalhar com o controle manual ou automático e também monitorar as grandezas físicas do sistema (vazão, pressão e temperatura).

Nesta interface, foi possível realizar e visualizar o controle da vazão que é uma das grandezas determinantes no processo de incrustação. Um detalhe importante que vale ser ressaltado é que as constantes de tempo dos controladores foram projetadas na unidade de tempo “segundos” e na implementação, na VI PID do *Toolkit PID and Fuzzy Logic*, a unidade de tempo é dada em “minutos” sendo necessária, assim, a conversão entre as unidades.

Na Figura 6 é mostrado o funcionamento no modo de operação manual, onde o controle é feito em malha aberta e altera-se diretamente o valor da frequência no inversor (Setpoint Frequência). Já na Figura 7, o controle é feito de modo automático através do controlador PID implementado no LabVIEW e nesse modo de operação determina-se o valor da vazão desejada (Setpoint Vazão). Foram testadas três sintonias de controladores: Métodos de Otimização ITAE, como o proposto por Rovira para variação do sinal de referência (que apresentou uma resposta oscilatória), Método da Curva de Reação, proposto por Ziegler-Nichols (ZN) (que apresentou um alto sobressinal) e Internal Model Control (IMC) (que foi a técnica que apresentou respostas satisfatórias). As respostas do controlador escolhido podem ser visualizadas na Figura 7.

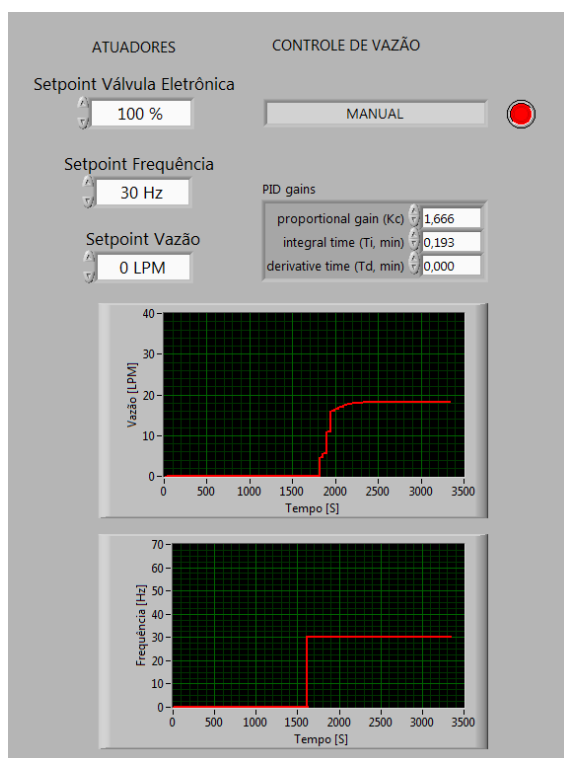


Figura 6: Resposta ao degrau do sistema em malha aberta.

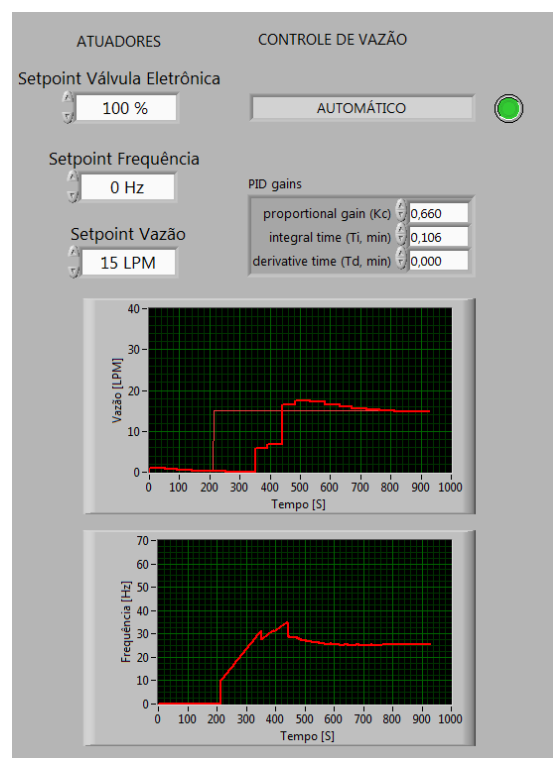


Figura 7: Resposta ao degrau do sistema em malha fechada.

Podemos perceber que o sistema comporta-se conforme simulado (Figura 4) e a modelagem matemática obtida representa uma boa aproximação para a plataforma em estudo. É possível também realizar um ajuste fino nos ganhos do controlador para uma melhor resposta de operação do sistema.

Conclusões

A partir do estudo realizado, foi possível determinar e analisar os modelos para uma plataforma de detecção de incrustação com base nos dados dos sensores de vazão. Após isso, pôde-se projetar controladores e analisa-los através dos índices de desempenho e escolher dentre eles aquele que obteve o melhor desempenho. Escolhido o controlador, implementou-se o controle PID através da interface homem-máquina no LabVIEW e observando o comportamento do sistema na prática concluiu-se que estas etapas foram bem sucedidas.

Estas etapas aqui apresentadas são relevantes para o desenvolvimento do projeto que encontra-se em andamento, pois a partir do controle e monitoração da vazão e pressão, é possível determinar a energia mecânica utilizada para o transporte de fluidos na plataforma em estudo. Medindo-se a energia elétrica demandada pelo inversor de frequência e bomba é possível realizar uma análise comparativa entre a energia fornecida e energia perdida no transporte com a presença de incrustações.

Agradecimentos

À ANP e ao PRH-42, pelo apoio financeiro, aos professores Jaidilson e José Sérgio pela orientação e ao LIEC pelo uso de suas instalações físicas.

Referências Bibliográficas

- [1] J. L. Rose. Recent Advances in Guided Wave NDE. IEEE Ultrasonic Symposium. Pp. 761-770. 1995.
- [2] J. J. Silva, M. G. Wanzeller, P.A, Farias, J. S. Rocha Neto. Development of circuits for excitement and reception in ultrasonic transducers for generation of guided waves in hollow cylinders for fouling detection. IEE Instrumentation and Measurement Technology Conference. Ottawa, Ontario, Canada. 17-19 May 2005.
- [3] SILVA, J. J. Desenvolvimento de Técnicas de Detecção de Incrustação Utilizando Métodos Não-Invasivos. 2008. 166f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica, Área de Concentração em Processamento da Informação) - Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB. 2008.
- [4] MANSOORI, G. A. Deposition and Fouling of Heavy Organic Oils and Other Compounds. In: 9th INTERNATIONAL CONFERENCE ON PROPERTIES AND PHASE EQUILIBRIA FOR PRODUCT AND PROCESS DESIGN, 2001, Japão.
- [5] MELO, T. R. Projeto e Implementação de Sistemas de Controle em Malha Fechada para uma Plataforma de Detecção de Incrustação, 2014, Brasil.
- [6] KNIHS et al , 2010. Aplicação da Sintonia IMC no Controlador PID em Sistemas Não-Lineares Simulados com ScicosLab. In: 9th IEEE IAS International Conference Industry Applications, São Paulo, Brasil. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=5739885&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls52Fabs_all.jsp%3Far-number%3D5739885>. Acesso em: julho 2015.
- [7] DORF, R. C. e BISHOP, R. H. Sistemas de Controle Modernos. 11. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.