



MÉTODO DE IDENTIFICAÇÃO POR MÍNIMOS QUADRADOS EM UMA PLANTA DIDÁTICA DE NÍVEL FOUNDATION FIELDBUS: UM ESTUDO DE CASO EXPERIMENTAL NA GRADUAÇÃO

Amanda Knaipp Badaró – amandakb@gmail.com

Marlon José do Carmo – marloncarmo@ieee.org

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Campus Leopoldina
Rua José Peres, Centro.

36700 000 – Leopoldina - MG

Murillo Ferreira dos Santos – murilloferreiradossantos@gmail.com

UFJF – Universidade Federal de Juiz de Fora

GRIn – Grupo de Robótica Inteligente, Juiz de Fora, MG

Resumo: *Este trabalho apresenta um projeto didático da modelagem por identificação, aplicada a uma planta didática. Este projeto utiliza uma planta didática com protocolo Foundation Fieldbus fabricada pela SMAR, pertencente ao CEFET-MG Campus III – Leopoldina, para realizar o teste de modelagem por identificação dos mínimos quadrados através do software Matlab®/Simulink, toolbox OPC e experimentação na planta. Com o sucesso da conclusão deste trabalho, a planta de nível Foundation Fieldbus foi modelada e aproximada por uma função de transferência de segunda ordem.*

Palavras-chave: *Identificação, Modelagem, Planta de Nível, Experimentação metodológica.*

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de ferramentas educacionais para instituições de ensino reflete os pilares básicos da educação não apenas como fazê-lo, mas saber como fazer e refazer. A partir desta definição, como um processo de formação da competência humana, pode-se traçar claramente a relação entre teoria e prática. Essa junção faz com que os profissionais estejam mais qualificados, portanto requer uma renovação constante de ferramentas de ensino em laboratório de aprendizagem.

Nas disciplinas de controle automático notamos que o conteúdo é sempre passado de forma teórica, portanto este artigo propõe um modelo didático para aulas práticas de controle.

Devido ao mundo globalizado, onde a cada dia surgem novas tecnologias, as indústrias buscam produzir mais, com maior qualidade e rapidez, e menor custo e falhas. Para isso, necessitam de profissionais capacitados que podem prover uma melhor análise de controle de seus processos, que estão se tornando cada vez mais complexos.

Para auxiliar no projeto e análise do funcionamento dos sistemas de controle, é necessário se obter o modelo matemático que represente o processo físico real. Este modelo é uma equação matemática utilizada para responder a questões sobre o sistema, tais como a variação temporal e/ou espacial das variáveis deste, sem a realização de experimentações.

Com um bom modelo matemático é possível analisar e prever o comportamento de um sistema, sob diversas condições de operação, e ajustar o desempenho do mesmo, caso ele não se mostre satisfatório. Dessa forma, é possível realizar simulações do sistema, de forma segura e com baixo custo (COELHO; DOS SANTOS COELHO, 2004).

São considerados bons modelos, aqueles que descrevem os fenômenos de interesse de um determinado sistema com uma considerável exatidão (RODRIGUES, 1996).

Para determinar o modelo matemático de um sistema, faz-se a modelagem e a identificação deste sistema, de forma que represente suas principais características para fins de diagnóstico, supervisão, otimização e controle.

Dentro do contexto de modelagem matemática surgem dois tipos, a modelagem fenomenológica e modelagem por identificação (AGUIRRE, 2007). Modelagem fenomenológica é baseada na física do processo, ou seja no equacionamento dos fenômenos envolvidos através de equações diferenciais.

Modelagem por identificação é aquela baseada em técnicas que buscam descrever as relações de causa e efeito entre as variáveis de entrada e saída. Sendo os modelos resultantes e as técnicas usadas, diferentes das associadas à modelagem fenomenológica. Assim a modelagem por identificação se torna uma ferramenta muito utilizada e útil, para obter a equação matemática aproximada de malhas.

2. PLANTA DIDÁTICA SMAR

A Planta Didática da SMAR foi desenvolvida para simular fielmente processos industriais em escala menores. Por se tratar de uma planta didática, ela realiza multiprocessos, possibilitando a simulação de diversos processos comumente encontrados na indústria e utilizando os mesmos instrumentos e ferramentas de configuração utilizadas em processos industriais reais. Na “Figura 1” encontra-se a Planta Didática da SMAR.



Figura 1 – Planta Didática SMAR

A mesma possui sensores de medição de variáveis como vazão, temperatura e nível na parte de instrumentação e equipamentos como posicionadores para atuadores de válvulas de controle, transmissores, conversor estático para controlar um resistor de imersão e CLP que executa os comandos.

2.1. Interface de comunicação OPC

O OPC (“ OLE for Process Control ”, onde OLE significa “Object Linking and Embedding”) é uma interface padronizada de comunicação que foi desenvolvida com o intuito de solucionar problemas de interoperabilidade em sistemas de automação industrial, integrando dados entre os diversos níveis de suas redes.

A Interface (OPC) estabelece as normas para que sejam desenvolvidos sistemas com interfaces padronizadas para comunicação dos dispositivos (CLPs, Sensores,etc.) com sistemas de monitoração , supervisão e gerenciamento (SCADA , PIMS, MES ,ERP, etc.). O OPC nada mais é que um o elo entre o supervisório e os drivers de comunicação.

3. O ESTIMADOR DOS MÍNIMOS QUADRADOS NÃO RECURSIVO

Os processo físicos, em muitos casos, podem ser caracterizados por equações diferenciais ou a diferenças oriundas da modelagem fenomenológica ou modelagem por identificação (GEROMEL, 2004). Entretanto, em sistemas de controle é comum de se representar um sistema é a utilização da representação frequencial, ou seja, no domínio da frequência. Esta representação, quando exprime a relação da saída para a entrada tem-se uma função de transferência no domínio da frequência. Do ponto de vista computacional, é mais importante representar uma função de transferência, representativa de um processo no domínio da frequência complexa por um processo no domínio da frequência complexa discreta. Para se representar uma função de transferência discreta, linear considere um processo físico caracterizado por uma entrada $u(t)$, uma saída $y(t)$, por uma perturbação $e(t)$, e com uma função de transferência da forma:

$$A(z^{-1})Y(z) = z^{-d}B(z^{-1})U(z) + E(z) \quad (1)$$

Onde:

$$\begin{aligned} A(z^{-1}) &= 1 + a_1z^{-1} + \dots + a_naz^{-na} \\ B(z^{-1}) &= b_0 + b_1z^{-1} + \dots + b_nbz^{-nb} \end{aligned} \quad (2)$$

Pode-se representar a função de transferência discreta por uma equação a diferenças, possibilitando assim, a simulação computacional:

$$\begin{aligned} y(k) &= -a_1y(k-1) - a_2y(k-2) - \dots - a_nay(k-na) + \dots \\ &\dots b_0u(k-d) + b_1u(k-d-1) + \dots + b_nbu(k-d-nb) + e(k) \end{aligned} \quad (3)$$

Da Equação (3) pode-se observar que se tem n_a+n_b+1 parâmetros a estimar; para se determinar a_i e b_j , devem-se utilizar as medidas de entrada e saída do processo; o termo $e(k)$ representa o erro de modelagem, erro de medição ou ruído na saída do tipo estocástico ou determinístico.

É possível reescrever a Equação (3), definindo-se dois vetores: um de medida, $\varphi(k)$, e outro de parâmetros, $\theta(k)$, então, tem-se:

$$y(k) = \varphi^T(k)\theta(k) + e(k) \quad (4)$$

Onde:

$$\varphi^T(k) = [-y(k-1) - y(k-2) \cdots - y(k-n_a) \ u(k-d) \cdots u(k-d-n_b)] \quad (5)$$

$$\theta^T(k) = [a_1 \ a_2 \ a_3 \cdots a_{n_a} \ b_0 \ b_1 \ \cdots b_{n_b}] \quad (6)$$

Como são realizadas N medidas, as quais são utilizadas para se determina a_i e b_j , pode-se representar a Equação (6), matricialmente:

$$Y = \phi\theta + E \quad (7)$$

Tem-se que o vetor de saída é dado por:

$$Y^T = [y(0) \ y(1) \ y(2) \ \cdots y(N-1)] \quad (8)$$

A estimativa do vetor de parâmetros, $\hat{\theta}$, pode ser obtida pelo procedimento dos mínimos quadrados. A melhor previsão da saída do sistema é dada por:

$$\hat{Y} = \phi \hat{\theta} \quad (9)$$

O estimador de Markov, também denominado de estimador dos mínimos quadrados ponderados, é obtido minimizando o seguinte funcional:

$$J = \min_{\hat{\theta}} \left\| Y - \phi \hat{\theta} \right\|_{\omega}^2 \quad (10)$$

$$J = \left[Y - \phi \hat{\theta} \right]^T W \left[Y - \phi \hat{\theta} \right] \quad (11)$$

Os elementos de W, W(i) são a ponderação em cada componente do erro e em função da precisão da medida. Derivando-se a Equação (11) e igualando-se a zero, tem-se:

$$\frac{\partial J}{\partial \hat{\theta}} = -2 \left(Y^T W \phi \right)^T + 2 \phi^T W \phi \hat{\theta} = 0 \quad (12)$$

Pode-se, então, calcular o estimador dos mínimos quadrados:

$$\hat{\theta} = \left[\phi^T W \phi \right]^{-1} \phi^T W Y \quad (13)$$

O estimador dos mínimos quadrados não recursivo é obtido admitindo que:

$$\hat{\theta} = \left[\frac{1}{\sigma^2} \right] \left[\phi^T \phi \right]^{-1} \phi^T \left[\sigma^2 \right] Y \quad (14)$$

$$\hat{\theta} = \left[\phi^T \phi \right]^{-1} \phi^T Y$$

Estimada a função de transferência discreta, a determinação da função de transferência contínua é obtida pelas relações de *backward*, *forward* ou trapezoidal. Basicamente o procedimento para o estimados dos mínimos quadrados não-recursivo, o qual é off-line, consiste em injetar na planta um sinal do tipo PRBS(*Pseudo Random Binary Sequence*) com amplitude ± 1 . Esta condição é necessária para que se tenha um sinal suficientemente excitado. Os valores de saída são armazenados em um vetor para aplicar, logo após, as equações referentes ao método. O método para se chegar a função de transferência no domínio s foi o método de Tustin.

4. RESULTADOS OBTIDOS NA FASE DE OPERAÇÃO NA PLANTA DIDÁTICA

Para realizar a identificação, foi desenvolvida uma aplicação utilizado o software *Matlab®/Simulink*, que, através da interface OPC realiza a comunicação entre o CLP SMAR LC700 da planta didática *Foundation Fieldbus* e o software que realiza a identificação da planta. Neste caso, o cliente OPC é o software *Matlab®/Simulink*, que irá escrever e ler valores diretamente da saída e da entrada periférica do servidor OPC, que é a *Tag List* fornecida pela SMAR.

A comunicação com o CLP da planta é feita através da utilização de 3 blocos da OPC toolbox. Estes são: *OPC Configuration*, *OPC Read* e *OPC Write*. Através dessa comunicação conseguimos adquirir a curva de reação para o nível e realizar a identificação do sistema. Para isso, criou se uma malha no *Simulink* para simular o acionamento da bomba da planta. Isso ocorreu devido a utilização do bloco *OPC Configuration*, onde foi selecionado o servidor da planta *HART SMAR.LC700 Server*, o bloco *OPC Write*, onde foi selecionada a tag da bomba que é SD012.01, e um bloco de constante, onde o valor 1 liga a bomba e o valor 0 a desliga. Dessa forma, ao iniciar a simulação da malha, a bomba da planta será ligada quando for forçada a entrada 1 ou desligada quando for forçada a entrada 0.

A próxima malha desenvolvida no *Simulink*, foi para adquirir a curva de reação para o nível. Para tal ,foi utilizado o bloco *OPC Configuration*, onde foi selecionado o servidor da planta *SMAR.LC700 Server*, ou seja, o bloco *OPC Write*, onde foi selecionada a tag da válvula de controle da entrada do tanque que é SA010.00 e foi selecionado um bloco de constante ligada ao bloco *Write*, onde se escolhe o valor de abertura da válvula, que varia de 0 (0%) a 10.000 (100%), já que o valor é analógico. Utilizamos também o bloco *OPC Read*, onde foi selecionada a tag do sensor de nível, que é EA003.02 e ligado a ele foi colocado um *Scope* para visualizar a curva e salvá-la.

Dessa forma, ao iniciar a o método de identificação para a simulação da malha, aplica-se um sinal PRBS na válvula e acompanha-se a resposta do nível pelo *Scope*. Tendo-se os dois sinais: o PRBS e o sinal de nível, aplica-se o método dos mínimos quadrados não recursivo.

4.1. Aplicação do método na planta

Como supracitado, foi necessário a aplicação de um sinal PRBS sobre a válvula que faz parte de malha de nível da planta didática *Foundation Fieldbus*. As Figuras 2 e 3 mostram a malha de controle a ser identificada e o sinal aplicado.

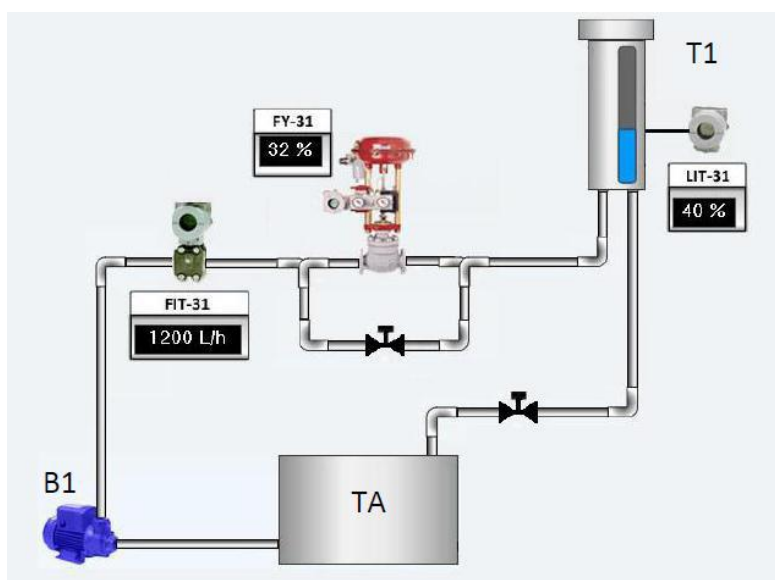


Figura 2- Malha de controle de nível

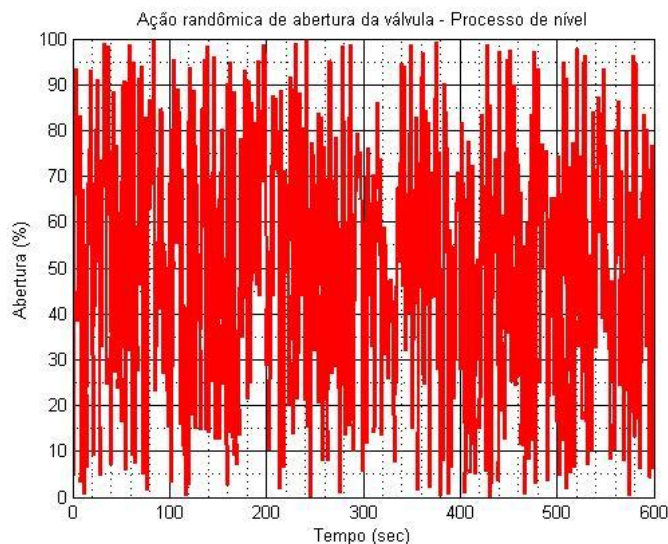


Figura 3 – Sinal PRBS aplicado

Pode ser visualizado na Figura 2 o esquema do processo analisado no presente trabalho no qual: B1- Bomba hidráulica; TA- tanque de armazenamento; T1- tanque de processo; FIT-31- medidor de vazão de entrada do TP; FY-31- posicionador da válvula de controle e LIT-31- medidor de nível do tanque de processo.

A água proveniente do tanque TA é bombeada, através da bomba B1, até o tanque T1. A água passa pela válvula de controle FY-31, o percentual de abertura desta válvula definirá a vazão na qual pode ser medida através do medidor FIT-31.

A abertura no fundo do tanque simula o consumo de água e é feita através de uma válvula do tipo *manifold*. Uma pequena abertura da válvula estabelece a vazão de saída.

Inicialmente, a vazão de entrada deve ser maior que a vazão de saída para que o nível do tanque aumente. Quando há um aumento no nível do tanque T1, há um aumento no peso da água devido a gravidade e esta dificulta a entrada de água, consequentemente a vazão de saída de água do tanque aumenta.

Para aplicar o sinal PRBS utilizou os seguintes blocos no Simulink, com as tags já configuradas anteriormente:

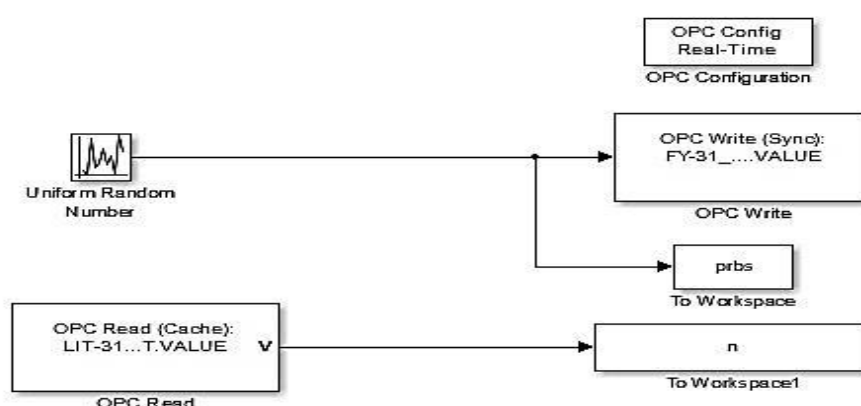


Figura 4 – Diagrama de blocos do Simulink para aplicação do sinal PRBS e leitura do sinal de nível.

Ao aplicar o sinal PRBS na válvula, obteve-se a seguinte resposta no tocante ao sensor de nível:

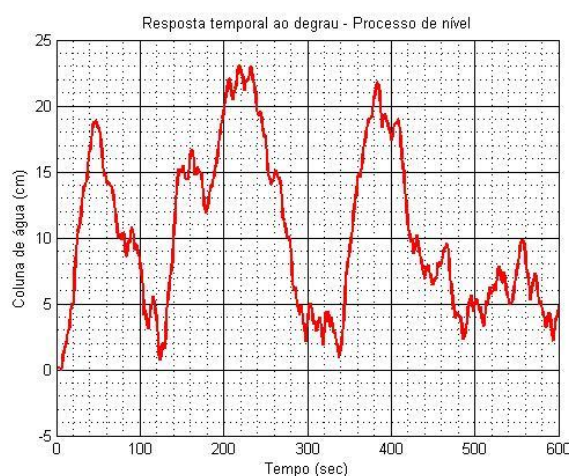


Figura 5 – Resposta da planta de nível

Tendo-se os vetores relacionados ao nível e o sinal PRBS aplicado aplicam-se as equações descritas na seção 3. A aplicação do método dos mínimos quadrados não recursivos leva a uma equação a diferenças finitas (EDF) da forma descrita pela Equação (3). Reordenando a EDF, escrevendo no domínio Z e transformando para o domínio S pelo método de Tustin, considerando um tempo de amostragem da planta de 0,1 segundos, obtiveram-se as seguintes funções de transferência relativas à planta descrita:

```
gz =  
  
    0.002063 z + 0.0071  
-----  
    z^2 - 1.489 z + 0.4935  
  
Sample time: 1 seconds  
Discrete-time transfer function.  
  
gtustin =  
  
    0.08183 s^2 - 0.4614 s + 0.5955  
-----  
    s^2 + 0.6792 s + 0.006256  
  
Continuous-time transfer function.
```

Figura 6 – Funções de transferências obtidas no Matlab.

A Figura 7 apresenta as comparações da planta real a uma variação ao degrau, da planta modelada e do processo no domínio da EDF:

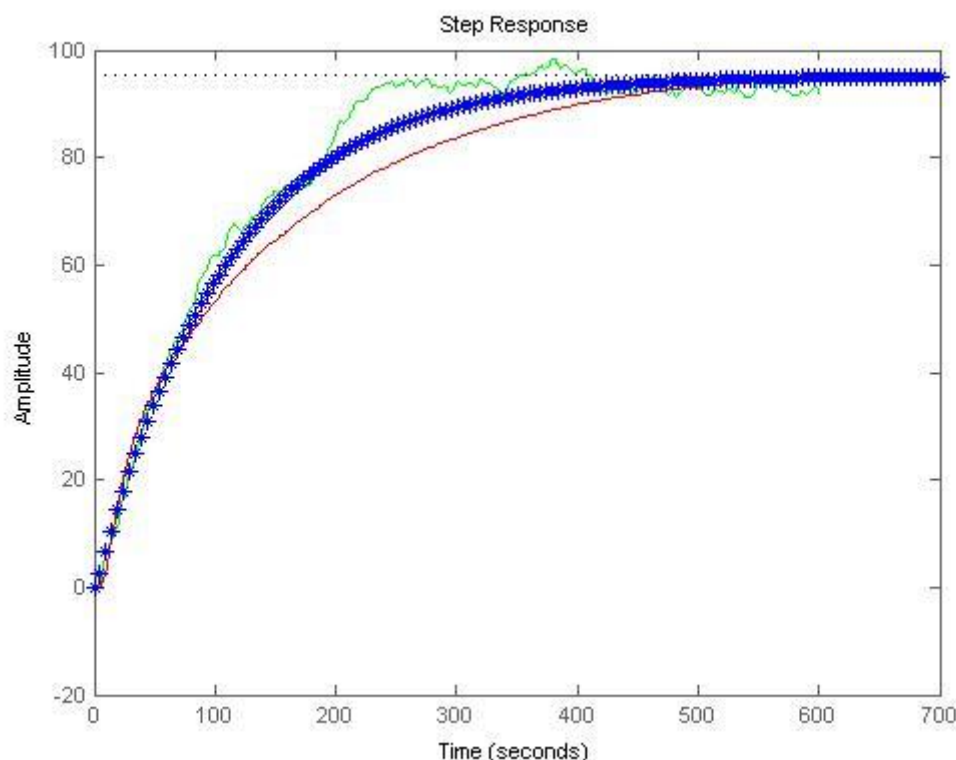


Figura 7 – Resposta à variação ao degrau: vermelho – processo real; verde – identificado por EDF com passo de amostragem de 0,1 segundos; azul – processo de segunda ordem identificado.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresentou-se neste trabalho a aplicação do método dos mínimos quadrados não recursivo na identificação do modelo de um processo de nível, cujas características dinâmicas se alteraram em função da dinâmica produzida por uma válvula de saída. Obtiveram-se respostas que assumiram um compromisso bastante fidedigno em relação ao sistema real, demonstrando a funcionalidade do método. Resta ressaltar, entretanto, que é necessário verificar se a função de transferência identificada é aproximável de segunda ordem de forma a possibilitar projetos de controladores mais simples, permitindo, assim um alcance com relação ao que se propõe com este trabalho, ou seja, permitir o uso do referido equipamento no laboratório de controle.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao MEC/SESu, FNDE, CAPES, FAPEMIG, Fundação CEFETMINAS e CEFET-MG pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIRRE, L. A. Introdução à Identificação de Sistemas: Técnicas Lineares e Não-Lineares Aplicadas a Sistemas Reais, Editora da UFMG, 1ª ed., Belo Horizonte, MG, 2000.

ALFARO, V. M. Apuntes del curso IE-432 – Laboratorio de Control Automático, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 1998.

ALFARO, V. M. Identificación de Procesos Sobreamortiguados Utilizando Técnicas de Lazo Abierto, São José, Costa Rica, 2001.

CHEN, C. L.; YANG, S. F. PI tuning based on peak amplitude ratio, Preprints of IFAC Workshop on Digital Control: Past, Present and Future of PID Control, Terrasa, Espanha, 2000.

COELHO, A. A. R.; DOS SANTOS COELHO, L. Identificação de Sistemas Dinâmicos Lineares, Editora da UFSC, 1ª ed., Florianópolis, SC, 2004.

GEROMEL, J. C.; PALHARES, A. G. B. Análise Linear de Sistemas Dinâmicos, NC, 2004.

RODRIGUES, G. G. Identificação de Sistemas Dinâmicos Não-Lineares Utilizando Modelos.

METHOD FOR IDENTIFICATION OF LEAST SQUARES IN A TEACHING PLAN LEVEL FOUNDATION FIELDBUS: CASE STUDY EXPERIMENTAL IN GRADUATION

Abstract: *This paper presents a didactic project of modeling identification applied to a didactic plant. This project uses a didactic plant with Foundation Fieldbus protocol manufactured by SMAR, belonging to CEFET MG-Campus III - Leopoldina, for testing modeling for identification of least squares using the software Matlab ® / Simulink toolbox OPC and experimentation in the plant. With the successful completion of this work, the plant-level Fieldbus Foundation was modeled and approximated by a transfer function of second order.*

Keywords: *Identification, Modeling, Plant Level, Methodological experimentation.*