

MODELAGEM CAIXA PRETA DA ESPESSURA DE SAÍDA DE UM LAMINADOR SENDZIMIR¹

Cleofas do Vale Lacerda de Castro²
Ivandro Figueiredo de Almeida³
Marcelo Vieira Corrêa⁴

RESUMO: Apresenta-se uma aplicação das técnicas de identificação no cálculo da espessura de uma tira de aço ao silício laminada à frio em um laminador do tipo Sendzimir, na linha de laminação à frio de aços siliciosos da Acesita. O método utilizado será o de modelagem caixa preta. O processo de laminação será representado por um modelo polinomial auto-regressivo com entradas externas (ARX do inglês auto regressive with exogenous inputs). Os dados foram coletados à uma taxa de amostragem de 20 ms, durante a laminação de uma tira de silício, cuja espessura estava sendo reduzida de 1060 μm para 680 μm . Amostrou-se variáveis do processo envolvidas na redução da espessura da tira. Utilizou-se o teste de correlação cruzada para determinar as variáveis que influenciam na espessura final da tira. Após esta fase, foram aplicadas técnicas de identificação caixa-preta para se obter um modelo polinomial auto-regressivo com entradas externas (ARX) capaz de prever a espessura final da tira. Verificou-se que a espessura de saída da tira é função da força de laminação, posição do parafuso de aperto, espessura de entrada e tração de entrada. A partir dessas informações foi estabelecido um modelo de espessura de saída da tira. Utilizando os sinais como entrada e a espessura medida na saída do laminador, durante laminação, foi possível obter um modelo ARX polinomial capaz de representar a espessura de saída como função das variáveis acima. Os resultados demonstram a viabilidade de se utilizar o modelo para estimar a espessura de saída do laminador.

Palavras Chave: laminação a frio, espessura, modelos ARX, identificação

-
- (1) Contribuição Técnica ao 8º Seminário de Automação de Processos, 6 a 8 de outubro de 2004, Belo Horizonte MG.
 - (2) Engenheiro Eletrônico e de Telecomunicações - Assistente Técnico da ACESITA S.A.
 - (3) Engenheiro Eletricista - Assistente Técnico da ACESITA S.A.
 - (4) Dr., Engenheiro Eletricista, Professor Adjunto do Centro Universitário do Leste de Minas Gerais – Unileste-MG; Coronel Fabriciano – MG, pesquisador do CNPQ

1 – Introdução

A modelagem matemática pode ter um importante papel no controle, na otimização e na melhoria do desempenho de processos industriais. A modelagem pode ser dividida, de maneira geral, em dois grupos de acordo com o procedimento adotado. A modelagem fenomenológica, chamada da caixa branca, e a identificação de sistemas, chamada de identificação caixa preta (BOHLIN e GRAEBE, 1995).

Ultimamente técnicas de identificação vêm sendo aplicadas no estudo de problemas relacionados à laminação. Uma das justificativas para se utilizar a identificação é a impossibilidade de se medir a espessura entre os rolos de laminação (PRAXMARER et al., 1999). Outros trabalhos que utilizam a identificação de sistemas em processos de laminação podem ser vistos em (GORNI, et al., 1992; PEDERSEN e BJORN, 1998). Gorni e colegas aplicaram ferramentas matemáticas a fim de determinar a causa da ocorrência de ponta alta em um laminador de chapas grossas. Pedersen e Bjorn aplicaram técnicas de identificação no desenvolvimento de um controle multivariável para um laminador de chapas a quente.

Neste trabalho é apresentada a aplicação da identificação caixa preta na modelagem da espessura de saída de um laminador Sendzimir. Dados de variáveis de processo foram coletados durante operação normal do laminador, desligando apenas o controle de espessura via realimentação. O objetivo é o obter um modelo para a espessura de saída a partir de dados coletados durante a operação normal do laminador. Este é organizado como se segue. Na seção 2 apresenta-se uma breve visão do processo de laminação a frio. Na seção 3 discute-se o procedimento de identificação usado. A seguir, na seção 4, os resultados são apresentados e discutidos. Por último, apresenta-se a conclusão do trabalho.

2 – O Processo de Laminação a Frio

O objetivo do processo de laminação é a redução de espessura da tira para a espessura final requerida pela sua aplicação final. Isto é feito pela aplicação de força com a tira movimentando-se entre os cilindros. Na laminação a frio a tira é submetida a trações de entrada e saída. Isto faz com que a força de laminação necessária à deformação da tira seja menor. Devido às várias limitações dos equipamentos (força de laminação máxima, torque máximo, velocidade máxima) e de qualidade dos materiais laminados (exigência de superfície livre de defeitos), a redução de espessura não pode ser realizada em somente um passe.

A solução para uma laminação eficiente de aços inoxidáveis e siliciosos é o laminador tipo Sendzimir. Este laminador apresenta cilindros de trabalhos com diâmetros reduzidos e um conjunto de cilindros de suporte resultando em um total de 20 cilindros. A Configuração em pirâmide dos cilindros transmite a força de separação entre os cilindros de trabalho aos cilindros intermediários, destes ao conjunto de rolamentos de encosto e finalmente à cadeira monobloco do laminador. Uma vez que os cilindros de trabalhos são suportados ao longo de seu comprimento pelos cilindros intermediários, as deflexões dos cilindros são mínimas e tolerâncias de espessura muito exigentes podem ser alcançadas ao longo da largura da tira. O diâmetro reduzido dos cilindros de trabalho permite ainda a execução de reduções elevadas, facilidade de troca e qualidade satisfatória, muitas vezes sem a necessidade de recozimentos intermediários mesmo para espessuras finais muito reduzidas.

A Figura 1 ilustra um laminador Sendzimir com a medição de algumas variáveis do processo. Ressalta-se nesta figura as distâncias envolvidas entre os pontos de medição de espessura e o ponto de efetivo contato dos rolos de trabalho com a chapa de aço. Esta distância provoca atraso de transporte e dificulta o controle de espessura.

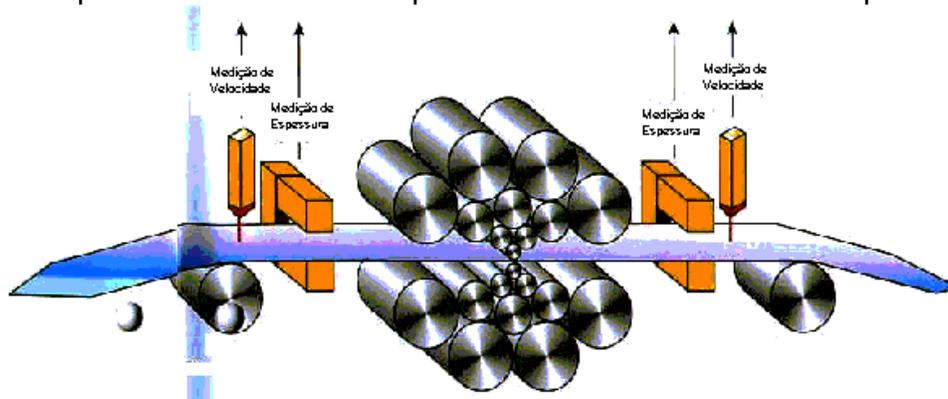


Figura 1 – Diagrama esquemático de um laminador do tipo Sendzimir.

3 – O Procedimento de Identificação

Um modelo NARMAX polinomial pode ser representado por (LEONTARITIS e BILLINGS, 1985a; LEONTARITIS e BILLINGS, 1985b; BILLINGS e CHEN, 1989):

$$y(k) = F^\lambda[y(k-1), y(k-2), \Lambda, y(k-n_y), u(k-d), u(k-d-1), \Lambda, u(k-d-n_u+1), e(k-1), \Lambda, e(k-n_e)] + e(k) \quad (1)$$

sendo $u(k)$ e $y(k)$ a entrada e saída do modelo nos instantes discretos k , ($k = 1, 2, \Lambda$), $e(k)$ representa o termo de ruído e n_u , n_y , n_e são, respectivamente, os máximos atrasos da entrada, saída e ruído. d representa o tempo morto ou atraso de transporte do sistema. F^λ é uma função polinomial com grau de não linearidade λ .

O procedimento de modelagem matemática de um sistema MIMO (*multiple input and multiple output*) via identificação pode ser dividido nas seguintes etapas: (i) coleta de dados; (ii) escolha do tempo de amostragem; (iii) seleção das variáveis de entrada/saída; (iv) seleção da estrutura; (v) estimação de parâmetros e (vi) validação dos modelos. A seguir será feita uma breve descrição de cada uma destas etapas.

As entradas a serem utilizadas para excitar o sistema devem ser projetadas para satisfazer um conjunto de propriedades (BILLINGS, 1980; BILLINGS e VOON, 1983) que, em princípio, garantirão a adequabilidade dos dados obtidos. É necessário que o sinal de entrada consiga excitar o sistema em toda a faixa de frequência de interesse e tenha um perfil de amplitudes adequados para garantir que todas as não linearidades presentes no sistema sejam visitadas (AGUIRRE e BILLINGS, 1995a).

O tempo de amostragem influi na seleção da estrutura, na estimação dos parâmetros do modelo e na capacidade do modelo reproduzir os diferentes regimes dinâmicos que o sistema possui. Um procedimento heurístico, adotado neste trabalho, para seleção do tempo de amostragem pode ser visto em (BILLINGS e AGUIRRE, 1995).

O modelo procurado deverá descrever a relação entre a espessura de saída e os outros sinais coletados. É de se esperar, portanto, que haja uma correlação significativa entre as variáveis de entrada e saída. Uma ferramenta capaz de determinar se existe

efetiva correlação cruzada entre cada uma das candidatas à entrada e a saída pode ser utilizada (AGUIRRE, 2000).

A seleção de estrutura de modelos NARMAX polinomial consiste em determinar quais termos devem ser incluídos no modelo e quantos termos. Para seleção dos termos a serem incluídos no modelo destaca-se o procedimento denominado ERR, “*error reduction ratio*” (BILLINGS et al, 1989). O ERR consiste em associar a cada termo candidato, um índice que corresponde à contribuição deste na explicação da variância dos dados de saída. Desta forma é possível ordenar os termos candidatos de acordo com a contribuição de cada um. Já para a seleção do número de termos, uma alternativa é a utilização do *critério de Informação de Akaike* (AIC) (AKAIKE, 1974).

A estimação de parâmetros de modelos NARMAX polinomiais em geral é feita utilizando o algoritmo de mínimos quadrados estendidos (AGUIRRE, 2000). A utilização deste permite estimar os parâmetros não polarizados para a estrutura selecionada.

A validação dos modelos ocorre em duas etapas. Validação estatística e validação dinâmica. A validação estatística procura verificar se os resíduos de identificação são brancos e não correlacionados com a entrada (BOX e JENKINS, 1976; BILLINGS e VOON, 1986). Na validação dinâmica de um modelo, é verificado se esse apresenta características dinâmicas semelhantes àquelas do sistema que está sendo identificado. Para isto utiliza-se uma massa de dados diferente da usada na identificação. Esta massa de dados é chamada de dados de validação. O modelo é simulado com as mesmas entradas do processo, sua saída é comparada com a saída do sistema que está sendo modelado. A simulação do modelo nestas condições é chamada de predição livre.

Neste trabalho, para mensurar o desempenho do modelo na predição livre utilizou-se dois índices, o índice de correlação linear e a raiz quadrada do erro médio quadrático RMSE (do inglês, *roots mean square error*). O índice de correlação linear usado foi conforme (HOEL, 1981). O erro é definido pela diferença entre o valor predito pelo modelo e a saída do sistema real.

4 – Resultados obtidos

A seguir serão apresentados os dados usados na identificação e os modelos obtidos usando o procedimento apresentado na seção 3.

4.1 Dados de identificação

Os dados usados no processo de identificação foram obtidos durante a laminação de uma tira de aço ao silício, cuja espessura estava sendo reduzida de 1060 μm para 680 μm . Utilizou-se o coletor IBA da ABB, a um tempo de amostragem de 20 ms. Durante os testes, o medidor de espessura de saída, que fecha a malha de controle de espessura, foi usado apenas para a medição, ficando a malha de controle sem realimentação, ou em malha aberta. As seguintes variáveis foram observadas:

y = Espessura de saída → espessura da tira depois de laminada;
 u_2 = Força de laminação → Força de separação dos cilindros de laminação;
 u_3 = Posição do parafuso de aperto → Posição do parafuso que aciona o conjunto que posiciona os cilindros na abertura desejada para a laminação;
 u_4 = Espessura de entrada → Espessura da tira antes de entrar no cilindro;
 u_6 = Tração da bobinadeira esquerda → Tração aplicada na tira pela bobinadeira que alimenta o laminador;
 u_7 = Velocidade do laminador → Velocidade periférica dos cilindros de laminação;
 u_8 = Tração na bobinadeira direita → Tração aplicada na tira pela bobinadeira após a laminação;
 u_9 = Velocidade no rolo defletor da esquerda → Velocidade da tira antes de entrar no laminador;
 u_{10} = Velocidade no rolo defletor da direita → Velocidade da tira após sair do laminador.

Estes dados estão apresentados na Figura 1. No mesmo conjunto de dados, foram selecionados dois subconjuntos, um para identificação e outro para validação do modelo. Pode-se observar na Figura 1 que a velocidade do laminador ficou constante nos testes. Este fato permitiu a utilização de um tempo de amostragem constante.

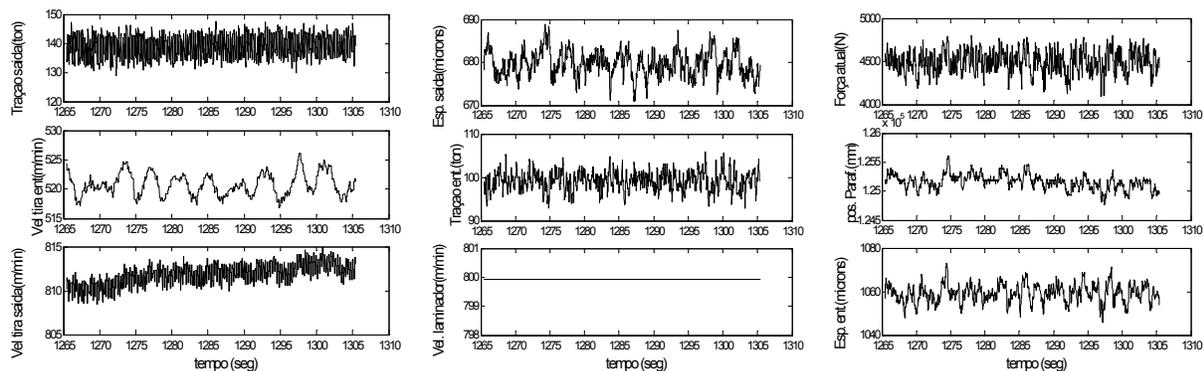


Figura 1 - Dados coletados durante a laminação de uma bobina de silício. Da esquerda para direita: tração na saída, espessura na saída, força de laminação, velocidade da tira na entrada, tração na entrada, posição do parafuso de aperto, velocidade da tira na saída, velocidade do laminador e espessura de entrada.

Nos dados coletados aplicou-se o teste citado na seção 3 para determinação do tempo de amostragem. Verificou-se que o tempo de amostragem podia ser 40 ms ao invés de 20 ms. Os dados foram decimados, descartando uma amostra a cada duas.

Testes de correlação cruzada mostraram que a variável velocidade da tira na entrada apresentou correlação com a espessura de saída, entretanto, nesse caso a relação causal é invertida, ou seja, a variação de velocidade é causada pela variação da espessura, portanto esta variável pode ser eliminada como entrada do sistema. As variáveis, posição do parafuso de aperto, espessura de entrada, tração da bobinadeira de entrada e força de laminação apresentaram forte correlação com a espessura da saída. A Figura 02 mostra um exemplo de correlação significativa e de não correlação.

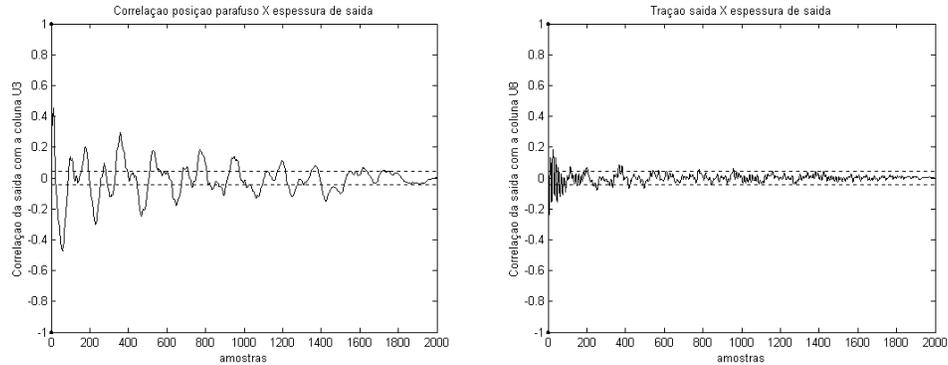


Figura 2 – Resultados típicos da análise de correlação entre a variável de saída, espessura, e variáveis candidatas a entrada do modelo. (esquerda) Exemplo de correlação significativa: espessura e posição do parafuso de aperto e (direita) exemplo de correlação não significativa: tração de saída e espessura de saída.

A existência de correlação entre duas variáveis correlacionadas com a saída sugere que somente uma delas seja usada como entrada. A mesma função de correlação cruzada foi adotada como teste de redundância. Observando as correlações encontradas, conclui-se que a variável força de laminação bem como a variável posição do parafuso de aperto tem forte correlação com a espessura de entrada, o que sugere a eliminação delas por indicar redundância. Entretanto, acredita-se que essa forte correlação foi causada pela permanência em operação da componente de "feedforward" do controle de espessura, responsável por pré posicionar o parafuso de aperto, procurando se antecipar às variações da espessura de entrada. Portanto essas variáveis não serão eliminadas a priori.

4.2 Modelos Obtidos

A seguir serão apresentados os modelos de espessura de saída do laminador em função das variáveis de entrada. Todos os modelos apresentados possuem as seguintes especificações em comum: grau de não linearidade, $DG=1$, atraso máximo em y $n_y = 10$, atraso máximo nas variáveis de entrada $n_u = 60$, número de termos de ruído $N_e=1$ e atraso máximo nos termos de ruído $n_e = 10$. Com $DG=1$ obtém-se um modelo linear exceto pela possibilidade de surgimento de termo constante. O atraso máximo em y , n_y , foi escolhido empiricamente. A escolha de $n_u = 60$ se justifica devido aos atrasos de transporte provocados pelas distâncias entre a medição de espessura de entrada e laminador, e este e a medição da espessura de saída. Os termos de ruído foram acrescentados durante a fase de estimação de parâmetros para se evitar polarização (AGUIRRE, 2000). O número de termos de cada modelo foi determinado pelo critério de informação de Akaike (AIC), apresentado na seção 3.

Modelo 1 – Quatro variáveis de entrada

Para obter este modelo utilizou-se as seguintes variáveis de entrada: *força de laminação* (u_2), *posição do parafuso de aperto* (u_3), *espessura de entrada* (u_4), *tração na bobinadeira esquerda* (u_6) e *velocidade no rolo defletor esquerdo* (u_9). Estas variáveis foram selecionadas de acordo com a Tabela 1. Aplicando a seleção de estrutura via ERR e estimando os parâmetros pelo método de mínimos quadrados estendido o modelo apresentado na Equação (1) foi obtido.

$$\begin{aligned}
y(k) = & +0,48784 y(k-1) + 0,69347 \times 10^{-3} u_2(k-6) + 0,28997 \times u_9(k-2) + 0,12983 u_6(k-2) \\
& + 0,2858 y(k-6) + 0,5859 \times 10^{-1} u_6(k-9) - 0,15011 \times 10^{-3} u_2(k-7) \\
& - 0,55839 \times 10^{-3} u_2(k-32) + 0,27061 u_4(k-11) - 0,26105 u_4(k-13) \\
& - 0,25159 u_4(k-18) + 0,31892 u_4(k-12) + 0,14208 y_1(k-7) - 0,19982 u_9(k-8) \\
& - 0,16989 \times 10^{-1} u_4(k-29) - 0,49952 \times 10^{-1} u_4(k-10) - 0,27791 u_9(k-11) \\
& + 0,16501 \times u_9(k-30) + 0,22723 u_9(k-3) - 0,12702 u_9(k-28) \\
& - 0,24168 \times 10^{-1} u_6(k-6) - 0,62065 \times 10^{-1} u_4(k-56) + 0,32511 \times 10^{-1} u_6(k-32) \\
& + 0,45976 \times 10^{-1} u_4(k-55) + 0,39639 \times 10^{-3} u_2(k-54) + 0,37982 \times 10^{-1} u_6(k-24) \\
& + 0,24671 \times 10^{-1} u_6(k-60) - 0,40343 \times 10^{-1} u_6(k-1) .
\end{aligned} \tag{1}$$

Neste modelo verifica-se que o ERR não selecionou a entrada u_3 , *posição do parafuso de aperto*. Este fato pode ser explicado pela correlação desta entrada com as entradas u_4 e u_9 , respectivamente *espessura de entrada* e *velocidade do rolo defletor esquerdo*. Na predição livre este modelo apresentou RMSE=0,8178 nos dados de identificação e RMSE=2,0731 nos dados de validação. O índice de correlação linear entre a saída y e a saída \bar{y} predita pelo modelo é $r=0,9364$ para os dados de validação e $r=0,9613$ para os dados de identificação. O resultado da predição livre deste modelo é visualmente similar ao apresentado na Figura 3 para o modelo 2.

Modelo 2 – Duas variáveis de entrada

Utilizando conhecimento *a priori* a respeito da laminação e os resultados da análise de correlação apresentados na Tabela 1 procurou-se restringir o número de variáveis de entrada, selecionou-se as seguintes entradas: *posição do parafuso de aperto* (u_2), *espessura de entrada* (u_4) e *tração na bobinadeira esquerda* (u_6). Com estrutura selecionada pelo algoritmo ERR e busca exaustiva com 10 a 45 termos de processos, obteve-se o seguinte modelo:

$$\begin{aligned}
y(k) = & 0,53565 y(k-1) + 0,3073 u_4(k-11) - 0,31154 u_4(k-13) + 0,13856 u_6(k-2) \\
& + 0,31696 u_4(k-12) + 0,29133 y(k-6) - 0,25865 u_4(k-18) + 0,10431 u_6(k-9) \\
& + 0,15807 y(k-7) + 0,66174 \times 10^{-1} u_6(k-7) - 0,16535 \times 10^{-1} u_4(k-29) \\
& - 0,68794 \times 10^{-1} u_4(k-10) + 0,79544 \times 10^{-1} u_6(k-4) + 0,24042 \times 10^{-1} u_4(k-44) \\
& - 0,19585 \times 10^{-1} u_4(k-38) ,
\end{aligned} \tag{2}$$

com 15 termos de processo determinado pelo critério de AIC. Nota-se que o ERR não selecionou nenhum termo da entrada u_2 , *posição do parafuso de aperto*. Este fato pode ser explicado pela correlação desta variável com as demais, conforme apresentado na Tabela 1. Na predição livre este modelo apresentou índice RMSE de 1,2791 para os dados de identificação e 1,5191 para os dados de validação. O índice de correlação linear entre a espessura estimada e a espessura de saída para este modelo foi de $r=0,9227$, para os dados de validação e de $r=0,9088$ para os dados de identificação. O resultado da simulação livre do modelo, usando dados de validação pode ser visto na Figura 3. Análise desta figura mostra que o modelo conseguiu acompanhar bem a espessura de saída do laminador.

Análise dos Modelos

Os dois modelos são lineares, não apresentam o termo constante. O modelo com menor número de termos de processo, modelo 2, apresentou maior capacidade de ajuste nos dados de validação que o modelo 1. Não se observou ganho significativo ao

se aumentar o número de entradas para a modelagem da espessura de saída do laminador. Os resultados apresentados mostram que é possível obter uma boa predição da espessura de saída do laminador medindo-se apenas a *tração da bobinadeira esquerda e a espessura de entrada no laminador*.

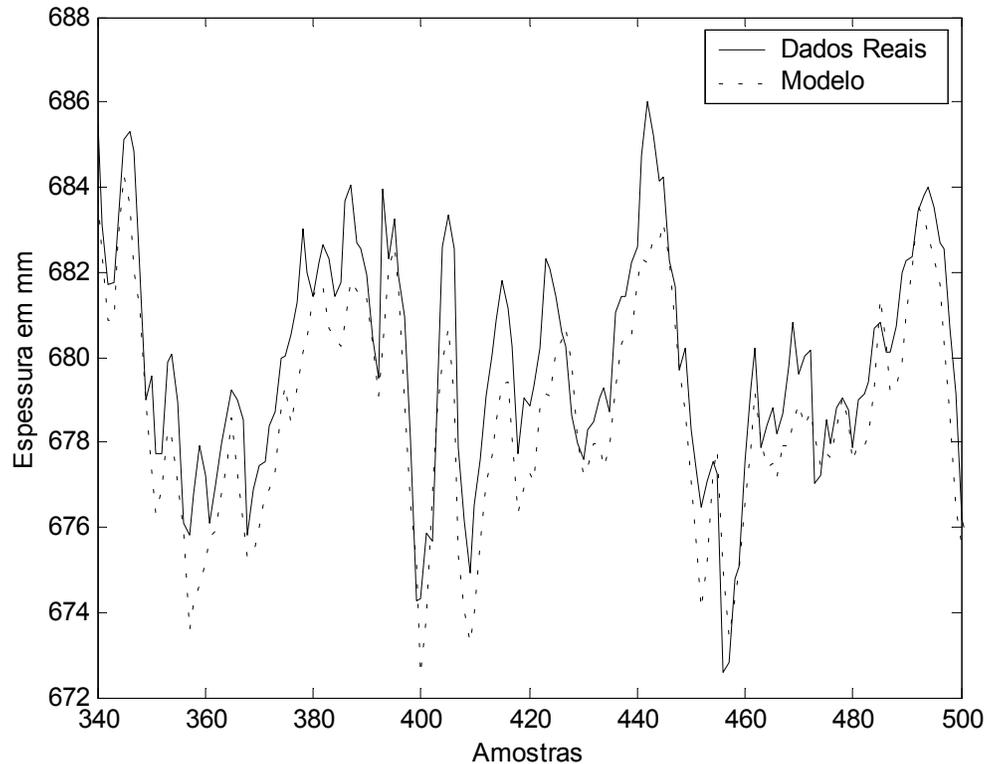


Figura 3. Trecho da predição livre do modelo com 15 termos de processo, 2 variáveis de entrada, apresentado na equação 2. A linha contínua são os dados reais de espessura medidos na saída do laminador e a linha tracejada é o resultado da simulação do modelo 2.

Vale ressaltar que os dados foram coletados mantendo o laminador com velocidade constante. Caso ocorra variação da velocidade de laminação, fato que normalmente ocorre, o tempo de amostragem deve ser ajustado para que a relação entre tempo de amostragem e velocidade fique constante. Isto se justifica pela variação do tempo de atraso com a velocidade de laminação. Ressalta-se também que os dados foram coletados durante a operação normal de laminação, ou seja, foi possível obter bons modelos sem submeter o laminador a condições de laminação especiais. Este fato é importante pois, permite concluir que é possível aplicar estratégias de identificação e estimação de parâmetros *on line*.

5. CONCLUSÕES

Técnicas de identificação caixa preta multivariável foram aplicadas na modelagem da espessura de saída de um laminador Sendzimir. Modelos foram obtidos a partir de dados coletados durante a operação normal do laminador, mantendo constante a velocidade de laminação. Observou-se que, usando apenas a tração na bobinadeira esquerda e a espessura de entrada é possível prever com razoável precisão a espessura de saída do laminador. A coleta de dados para identificação é relativamente

simples e as técnicas de identificação caixa preta se encontram com relativa facilidade na literatura especializada.

6. AGRADECIMENTOS

À Fundação Geraldo Perlingeiro de Abreu (FGPA) e ao CNPq que financiam parcialmente esta pesquisa. Ao Prof. L.A. Aguirre que cedeu rotinas usadas neste trabalho. À ACESITA S.A. pela liberação dos dados e dos profissionais envolvidos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIRRE, L.A. e BILLINGS, S.A. Dynamical Effects of Overparametrization in Nonlinear Models - **Physica D** 80:26-40, 1995.
- AGUIRRE, L.A. Introdução à Identificação de Sistemas: Técnicas Lineares e Não-Lineares Aplicadas a Sistemas Reais. Editora da UFMG, 2000.
- AKAIKE, H. A new look at statistical model identification. **IEE Transactions on Automatic Control**. 19,716-723, 1974.
- BILLINGS, S.A. Identification of Nonlinear Systems - **A Survey - IEE Proceedings, Part D**, 127(6): 272-285, 1980.
- BILLINGS, S.A. e CHEN, S. Identification of Nonlinear Rational Systems Using a Prediction-error Estimation Algorithm - **International Journal of Control**. SCI, Vol 20, no 3, 467-494 1989.
- BILLINGS, S.A. e VOON, W.S.F. Structure detection and model validity tests in the identification of nonlinear systems. **IEE Proceedings, Part D**, 130(4): 193-199, 1983.
- BILLINGS, S.A., CHEN, S. e Korenberg, M.J.. Identification of MIMO nonlinear systems using a forward-regression orthogonal estimator. **International Journal of Control**, 49(6):2157-2189, 1989.
- BOHLIN, T. and GRAEBE, S. T. Issues in nonlinear stochastic grey box identification. **Int. J. of Adaptive Control and Signal Processing**, 9(6):465. 1985
- BOX, G.E.P. e JENKINS, G.M. **Time Series Analysis Forecasting and Control** (San Francisco; Horden-Day), 1976.
- GORNI, A. A., CAVALCANTI, C. G., SILVEIRA, J. H. D., STUART, M. A., REIS, J. S. de S., Estudo sobre as causas da ocorrência de ponta alta num laminador de chapas grossas, **Seminário de Laminação da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais**, Porto Alegre, 1992
- HOEL, Paul G. **Estatística Elementar**. São Paulo: Editora Atlas, 1981.
- LEONTARITIS, I.J. e Billings, S.A. Input-output parametric models for non-linear systems part I: deterministic non-linear systems. **International Journal of Control**, 41(2):303-328, 1985.
- PEDERSEN, L. M. and WITTENMARK, B., Thickness control for a plate mill, In **Preprints of Automation in Mining Mineral and Metal Processing**, pp. 331–336, IFAC, 1998.
- PRAXMARER M., H.P. JÖRGL, D. FENZ, H. ABERL, **Identification and Decoupling in a Hot Strip Rolling Mill**, *Proc. of the 2nd IASTED Int. Conf. on Control and Applications*, pp.17-22, July 25-29, Banff, CANADA, 1999.
- ABB INDUSTRIA, HIGH MILL GEOMETRICAL, PRESET & CONTROL for SENDZIMIR MILLS, 1997.

BLACK BOX MOLDING OF A SENDZIMIR MILL EXIT THICKNESS¹

Cleofas do Vale Lacerda de Castro²
Ivandro Figueiredo de Almeida³
Marcelo Vieira Corrêa⁴

ABSTRACT: The present study has the aim to demonstrate an application of the identification techniques to calculate the thickness of a cold-rolled silicon strip processed in a Sendzimir mill, at Acesita's silicon steel cold rolling mill line. The method used was black box molding. The rolling process will be represented by an auto regressive polynomial model with exogenous inputs (ARX). Data were obtained at a sampling rate of 20 ms during the rolling process of a silicon strip, whose thickness was being reduced from 1.060 mm to 0.680 mm. Samples of process variables, which were involved in the reduction of strip thickness, were taken. Cross correlation test was used for determining the variables that influence on strip final thickness. After this phase, the black box identification techniques were applied so as to obtain an auto regressive polynomial model with exogenous inputs (ARX) capable of predicting the final thickness of the strip. As observed, the strip exit thickness is a function of the rolling force, screwdown position, entry thickness and entry tension. An exit strip thickness model was created based on this information. By using the signals as inputs and the thickness measured at the exit side of the rolling mill, it was possible to obtain the polynomial model ARX, which was capable of representing the exit thickness as a function of the above-mentioned variables. The results show the viability of using models to estimate exit thickness at the rolling mill.

Keywords: cold rolling mill, thickness, ARX models, identification