

ANÁLISE NUMÉRICA APLICADA À TREFILAÇÃO PARA A PRODUÇÃO DE CA-60¹

Jardel de Souza Belo²
Hiury Cavalcante Martins³

Resumo

A trefilação é um processo de trabalho multe passes a frio em metais, sendo este um processo amplamente utilizado na indústria metal-mecânica para a produção de CA-60. Algumas das principais variáveis do processo são: a matéria-prima e a fieira. O presente trabalho tem por objetivo: tornar mais dinâmico o processo de seleção de matéria-prima e fieira através de formulação de modelos matemáticos que impliquem em uma previsão dos limites de escoamento e de resistência da matéria-prima e do produto final. Para isso utilizou-se de análise numérica para obter uma previsão dos limites de escoamento e de resistência da matéria-prima através de sua composição química. Também foi utilizada de análise numérica para a formulação de um modelo para que através da bitola do produto final fossem previstas os limites de escoamento e de resistência do CA-60. Dessa forma foi possível dinamizar a organização da matéria-prima e da utilização das fieiras conforme o fabricante e a propriedade desejada.

Palavras-chave: Trefilação; Análise numérica; CA-60.

NUMERICAL ANALYSIS APPLIED TO WIREDRAWING FOR THE PRODUCTION OF CA-60

Abstract

Wiredrawing is a multi-pass process of cold working in metals. It is a process widely used in the metalworking industry for the production of steel civil industry. Among of the key process variables are the raw material and the wire drawing die. This work aims to render the process of raw material and also wire drawing die selections more dynamic by formulating mathematical models that result in a prediction yield and tensile strength limits of the raw material to be used and also of the final product. To do so, it was used a numerical analysis based on chemical composition to estimate both yield and tensile strength of the raw materials. The numerical analysis was also used to formulate a model, so that knowing the final diameter of the product the yield strength and the tensile strength of the steel were determined. Thus it was possible to improve the organization of the raw material and the correct use of the wire drawing dies according to each manufacturer and the desired property.

Key words: Wiredrawing, numerical analysis and steel civil industry.

¹ *Contribuição técnica ao 3º Seminário de Trefilação: Arames, Barras e Tubos de Metais Ferrosos e Não-ferrosos, 28 a 30 de novembro de 2012, São Paulo, SP.*

² *Graduando em Engenharia Metalúrgica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - CE.*

³ *Coordenador de qualidade, Aço Cearense Industrial LTDA, Caucaia - CE.*

1 INTRODUÇÃO

Uma peça de aço com seção especial pode ser produzida por: a extrusão a quente, a laminação com forma definida e a trefilação. Destas três formas, a trefilação pode ser considerada como a mais utilizada.⁽¹⁾

A trefilação consiste em tracionar um material pro meio de uma matriz com dimensões conhecidas e controladas.⁽²⁾ Este processo também é caracterizado por ser um trabalho multi-passes a frio em metais, sendo um processo amplamente utilizado pela indústria metal-mecânica para reduzir a seção de um fio máquina para a produção de CA-60.

Durante o processo de trefilação, o material terá suas propriedades mecânicas alteradas, devido à deformação plástica imposta no processo, o material sofrerá encruamento, levando ao aumento dos limites de resistência e escoamento.⁽³⁾ O processo de trefilação possui uma sequência de redução conhecida como passes de trefilação. Cada passe corresponde a uma redução ao qual o material será submetido, até que no ultimo passe a bitola final seja alcançada.⁽⁴⁾

Para que tais reduções sejam obtidas, é necessária a utilização de fieiras. A boa utilização das mesmas é essencial para o bom rendimento do processo. Uma possível solução para a organização de quais fieiras sejam utilizadas para uma determinada matéria-prima seria uma correlação entre as sua composição química e as propriedades mecânicas finais desejadas.

Baseado nisso criou-se uma tabela dinâmica, denominada de: “Tabela de reduções”, esta tabela realiza a correlação entre composição química da matéria-prima e as propriedades mecânicas do produto final através de métodos numéricos (sistemas lineares).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a construção do trabalho foram utilizados fios-máquina com diâmetros de 5,5 mm e 8,0 mm para que fossem realizadas suas respectivas reduções. A Tabela 1 exibe a relação entre o diâmetro inicial e o diâmetro do produto final (CA-60).

Tabela 1. Relação entre o diâmetro do fio-máquina e o diâmetro do produto final (CA-60)

Fio-máquina	CA-60
5,5 mm	4,2 mm
8,0 mm	6,0 mm

Para a criação da Tabela de reduções foi utilizado o software Excel[®] do pacote Office[®]. A criação dividiu-se em duas partes. Primeiramente foram criadas as tabelas de: correlação entre composição química e propriedade mecânica da matéria-prima e correlação entre a bitola final e as propriedades mecânicas do produto final. Por fim as duas tabelas foram unidas pela correlação das propriedades mecânicas da matéria prima e as do produto final.

2.1 Etapa I

Para a criação da tabela de correlação das propriedades mecânicas e a composição química da matéria-prima, foram levadas em consideração:

- Composição química: Elementos C, Si, Mn, P e S, devido ao fato de estarem em quantidade mais significativa; e
- Propriedades mecânicas: resultados de limites de escoamento e de resistência do fio-máquina.

Foram utilizadas as composições de todas as corridas e colocadas em tabela, em seguida cada linha foi considerada como sendo uma equação, onde cada elemento químico foi considerado como uma variável, conforme no exemplo da Tabela 2.

Tabela 2. Composição química de uma corrida aleatória

C	Si	Mn	P	S	LE (MPa)	LR (MPa)
0,160	0,600	0,110	0,014	0,014	340	475

$$\text{Equação para LE: } 0,160C + 0,600Si + 0,110Mn + 0,014P + 0,014S = 340$$

$$\text{Equação para LR: } 0,160C + 0,600Si + 0,110Mn + 0,014P + 0,014S = 475$$

Sendo assim, quando levadas em consideração todas as linhas da matriz, foi obtido um sistema linear com cinco equações. Ao resolver este sistema foi obtida uma equação para a relação entre a composição química e a propriedade mecânica do fio-máquina.

$$1) LE1 = 242 * C + 801 * Si + 324 * Mn + 3943 * P - 2609 * S$$

$$2) LR1 = 1110 * C + 1085 * Si + 238 * Mn + 5118 * P - 2610 * S$$

Para a criação da tabela de correlação entre propriedades mecânicas finais e iniciais foram realizados 50 ensaios de tração para cada redução, onde foram verificados os limites de escoamento e de resistência do produto final. A média destes resultados com a média dos resultados do fio-máquina gerou as equações da Tabela 3, onde o valor de x é igual ao do diâmetro real do produto final.

Tabela 3. Equações de LE e LR para o respectivo diâmetro final

Diâmetro final	Equação
4,2 mm	3) $LE2 = -465x + 2667$
	4) $LR2 = -430x + 2625$
6,0 mm	5) $LE3 = -175x + 1741$
	6) $LR3 = -155x + 1728$

2.2 Etapa II

Por ultimo foi possível associar a equação 1) com 3) e 2) com 4) para a redução de 5,5 mm para 4,2 mm e 1) com 5) e 2) com 6) para a redução de 8,0 mm para 6,0 mm.

Tabela 4. Equações finais de LE e LR para 4,2mm e 6,0mm, levando em consideração o diâmetro real do produto final

Diâmetro final	Equação
4,2 mm	7) $LE = (0,77 * LE1 - 549,23)x - 3,23 * LE1 + 3020,77$
	8) $LR = (0,77 * LR1 + 112,5)x - 3,23 * LR1 + 346,5$
6,0 mm	9) $LE = (0,5 * LE1 - 345,5)x - 3 * LE1 + 2764$
	10) $LR = (0,5 * LR1 - 397,5)x - 3 * LR1 + 3180$

3 RESULTADOS

A Figura 1 exibe a relação entre o limite de escoamento real e o obtido por meio de simulação para o CA-60 com diâmetro de 4,2 mm.

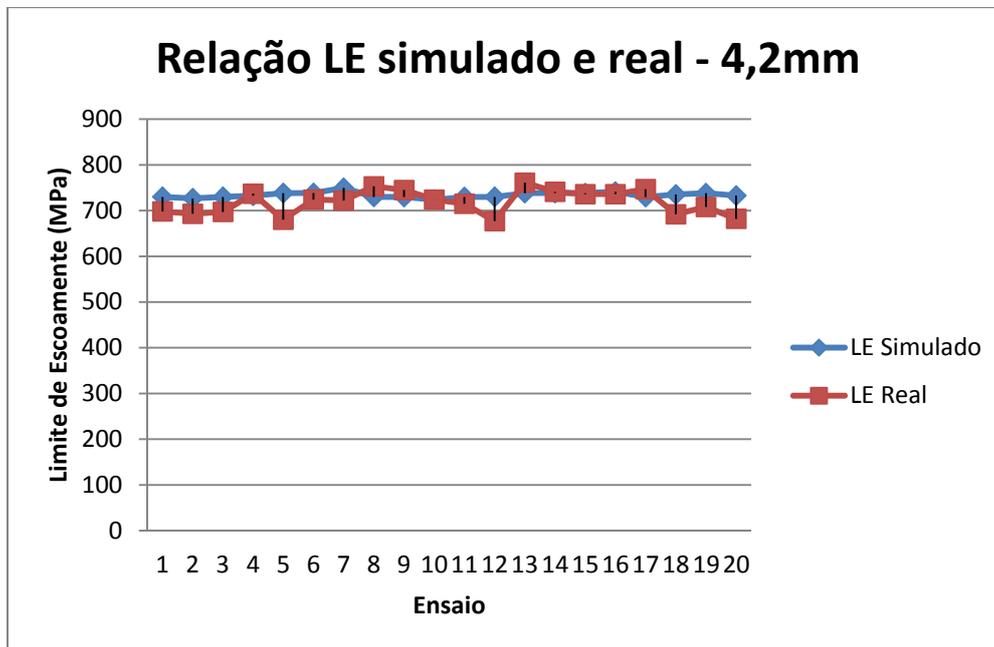


Figura 1. Relação entre LE simulado e real para CA-60 4,2 mm.

A Figura 2 exibe a relação entre o limite de resistência real e o obtido por meio de simulação para o CA-60 com diâmetro de 4,2 mm.

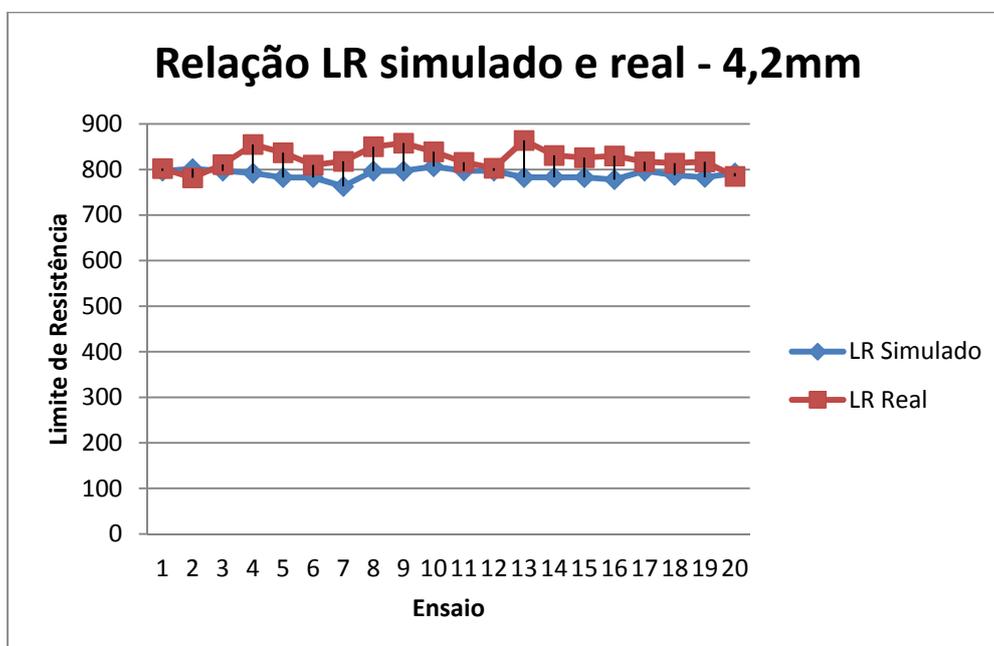


Figura 2. Relação entre LR simulado e real para CA-60 4,2 mm.

A Figura 3 exibe a relação entre o limite de escoamento real e o obtido por meio de simulação para o CA-60 com diâmetro de 6,0mm.

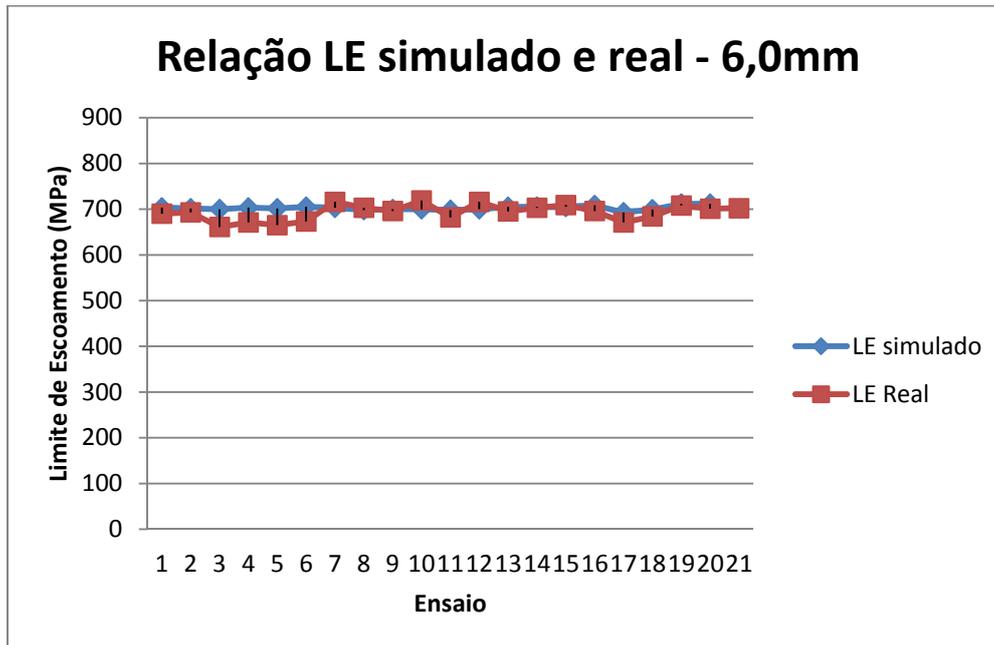


Figura 3. Relação entre LE simulado e real para CA-60 6,0 mm.

A Figura 4 exibe a relação entre o limite de resistência real e o obtido por meio de simulação para o CA-60 com diâmetro de 6,0mm.

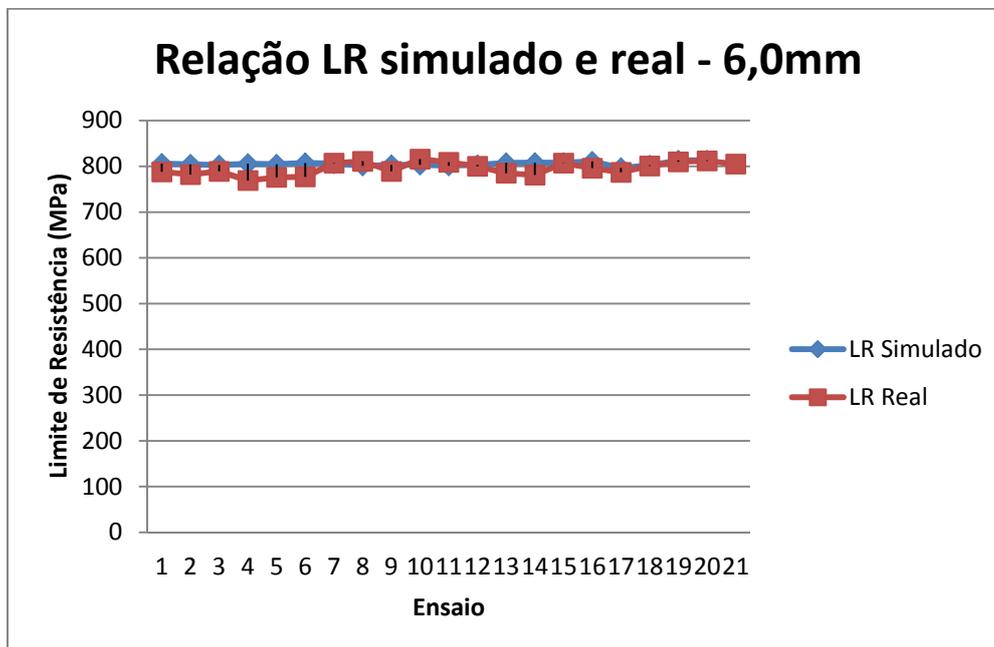


Figura 4. Relação entre LR simulado e real para CA-60 6,0mm.

4 DISCUSSÕES

As Figuras 1, 2, 3 e 4 mostram a relação entre os valores obtidos através da simulação, ou seja, antes dos ensaios de tração realizados conforme a norma

NBR 7480 exige⁽⁵⁾ e os resultados após a realização dos ensaios. É possível observar certos desvios nos resultados, esse fato deve-se a fatores externos como o operador ou até mesmo a condição de resfriamento do fio-máquina durante o processo siderúrgico.

Para o CA-60 com diâmetro de 4,2 mm a diferença entre as médias dos limites de escoamento e resistência do real para o simulado, foi 16 MPa e 33 MPa respectivamente. Para o CA-60 com diâmetro de 6,0mm a diferença entre as médias dos limites de escoamento e de resistência do real para o simulado, foi de 10 MPa para os dois casos.

5 CONCLUSÕES

- Os custos financeiros para a aplicação da técnica foram nulos;
- A utilização da técnica mostrou-se eficiente quando aplicada na indústria, quando solicitada;
- Fatores externos tais como: tratamentos térmicos e a não parametrização de operação, influenciam diretamente no erro dos resultados;
- O erro médio da técnica foi de no máximo 4,2% (Limite de resistência CA-60 com diâmetro de 4,2 mm).

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a Aço Cearense Industrial LTDA pela realização dos experimentos, material e espaço cedido.

REFERÊNCIAS

- 1 MACKENZIE, B. A. Drawn Sections Approach Net Shape. **American Machinist**, p.109 – p.110, 1980.
- 2 BUTTON, S. T. Trefilação: Programa de educação continuada. São Paulo: ABM, 2001.
- 3 EDER, A. E. “Influência do teor de nitrogênio na trefilação de aço equivalente ao ABNT 1013.” Dissertação de mestrado, UFRGS, 2006.
- 4 WRIGHT, R. Tips from Wiredrawing 101SM. **Wire and Cable Technology International**, p. 128 Março de 2002.
- 5 NORMA BRASILEIRA REGULAMENTADORA – **Aços destinados a armaduras de concreto armado**. 7480, Brasil, 2008.