

# ESTUDO PARA REDUÇÃO DE CUSTO NO PROJETO DE LIGA DE AÇO AO CARBONO PARA A PRODUÇÃO DO VERGALHÃO CA60

Bruna Iost Camacho <sup>1</sup>  
Anderson Kempka <sup>2</sup>  
Wagner Viana Bielefeldt <sup>3</sup>

## Resumo

Este trabalho tem como objetivos principais a redução de custo em ligas e aumento de produtividade na produção do vergalhão CA60 atendendo as especificações de propriedades mecânicas contidas na norma ABNT NBR 7480 de 2007. Para atingir estes objetivos foram reduzidas as faixas de composição química dos elementos C, Si e Mn na aciaria. Posteriormente o tarugo foi laminado a quente produzindo fio-máquina com bitola superior à anteriormente empregada. O fio-máquina de bitola superior foi processado no laminador a frio elevando as propriedades mecânicas através do mecanismo de encruamento por conformação mecânica, compensando a redução nos teores de elementos de liga praticada no aço. Para verificação de propriedades mecânicas foram realizados ensaios de tração determinando os limites de escoamento e resistência, relação elástica e alongamento, além de ensaios de dobramento e enrolamento.

**Palavras-chave:** ABNT NBR 7480; CA60; Laminação a frio.

## CARBON STEEL STUDY TO REDUCE THE COST ALLOY IN THE PRODUCTION OF CA60.

## Abstract

This work has as main objective to reduce alloy costs and to increased productivity in the processing of CA60 reinforcing bars, according to mechanical properties specified by the Brazilian standard NBR 7480, issued in 2007. To achieve these objectives the C, Si and Mn contents in the alloy were reduced. Afterwards the billets were hot rolled, producing gauge wire rod with diameter higher than the previously employed. The higher gauge wire rod was processed in the cold rolling mill, raising the mechanical properties through hardening mechanism by mechanical forming offsetting the reduction of alloy contents in the steel. The mechanical properties of the reinforcing bars with lower alloy content were checked through tension, bending and winding tests.

**Keywords:** ABNT NBR 7480; CA60; Cold rolling.

## I INTRODUÇÃO

A construção civil é um setor altamente impactante na economia brasileira. O cenário de recessão econômica e retração produtiva no país demandam que a produção de aço para atender esse setor se faça de modo competitivo, sendo necessário assim que se realizem cada vez mais pesquisas a fim de desenvolver melhorias nos processos para redução de custos em insumos e matérias primas, bem como aumento de produtividade.

O vergalhão CA60 é produzido com aço de baixo teor de carbono sendo bastante utilizado na construção civil

brasileira devido à sua alta resistência, ótima soldabilidade, além de maior aderência do aço ao concreto, proporcionando estruturas de concreto armado mais leves, sendo indicado para a produção de treliças, telas e estribos [1]. Para produzi-lo, de forma a obter as propriedades mecânicas especificadas pela norma ABNT 7480, edição de 2007 [1], o fio-máquina é submetido ao processo de laminação a frio, em que é necessário ter o controle das variáveis do processo para entender as possíveis alterações que nele ocorrerão. As propriedades mecânicas solicitadas pela norma podem

<sup>1</sup>Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica, de Minas e Materiais – PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: [bruna.camacho@ufrgs.br](mailto:bruna.camacho@ufrgs.br).

<sup>2</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.

<sup>3</sup>Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica, de Minas e Materiais – PPGEM, Departamento de Metalurgia – DEMET, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.



ser alcançadas através da adição de elementos de liga (ainda que com elevação do custo do material) e pelo encruamento proporcionado pela laminação a frio do fio máquina

A laminação a frio é um processo de conformação mecânica cujo objetivo consiste em proporcionar a forma desejada do material, de modo a torná-lo adequado a uma determinada aplicação [2]. Neste processo, o mecanismo de encruamento proporciona alterações microestruturais responsáveis por mudanças consideráveis nas propriedades mecânicas. O encruamento de um metal aumenta os seus limites de escoamento e resistência e diminui o alongamento [3].

A motivação para o presente trabalho decorreu da necessidade de se obter as propriedades mecânicas do vergalhão CA60, conforme a norma NBR ABNT 7480 (edição de 2007) [1], utilizando um aço com menores teores de elementos de liga e com diâmetro de fio-máquina maior do que o habitual para realizar a laminação a frio. Dessa forma os custos de produção foram reduzidos através da substituição do ganho de propriedades mecânicas através da adição de ligas pela intensificação do mecanismo de encruamento.

## 2 MATERIAIS E METODOS

### 2.1 Materiais

O aço empregado foi produzido em aciaria elétrica e utiliza sucata metálica como matéria-prima. O ajuste de composição química e adição de ligas ocorreram em refino através de forno-panela e a solidificação realizada em lingotamento contínuo, produzindo tarugos que foram encaminhados para a laminação de fio-máquina e reaquecidos até a temperatura de aproximadamente 1150°C. Na sequência, o tarugo foi para o trem de laminação, onde foram aplicados 22 passes. Após o resfriamento do fio-máquina ao ar, o mesmo foi processado no laminador a frio em 3 passes atingindo velocidades de até 18 m/s para produção do CA60 na forma de bobinas, as quais serão destinadas à distribuição comercial ou aplicadas em telas, treliças e estribos.

O material aqui estudado foi o vergalhão CA-60 com diâmetro de 4,20 mm proveniente de fio-máquina com diâmetro igual a 6,30 mm. A Tabela 1 apresenta a composição química desse aço.

Os testes foram realizados buscando a composição química proposta, conforme Tabela 2, utilizando fio-máquina com diâmetro de 7,00 mm. Os teores dos demais elementos de liga presentes no aço não serão aqui mencionados por motivos de sigilo industrial.

### 2.2 Composição Química

As amostras para análise química foram retiradas durante a produção da corrida na aciaria. Os resultados de composição química foram obtidos por meio de análise

realizada por espectroscopia de emissão óptica. Foram realizadas 10 corridas de teste em escala industrial, sendo quatro delas abordadas neste trabalho: as corridas 1 e 2 foram produzidas objetivando a composição mínima da faixa proposta e as corridas 3 e 4 foram produzidas objetivando o limite máximo proposto, vide Tabela 3.

As análises contidas na Tabela 3 se referem à amostra retirada no 7º tarugo no lingotamento contínuo. Esta prática é interessante a fim de minimizar possíveis erros decorrentes de misturas de corridas ou homogeneização ineficiente [4]. As análises de composição química dos testes foram realizadas através de um Espectrometro de Emissao Optica.

Nas corridas realizadas objetivando a composição química mínima, foi dada especial atenção ao atendimento das propriedades mecânicas pelo vergalhão, particularmente quanto aos limites de escoamento e de resistência, bem como alongamento total, devido à redução significativa dos teores de carbono e manganês no aço. O teor de Si também se tornou um ponto de atenção devido à função desoxidante do Si no aço. Por esse motivo foi realizada análise de blow-holes.

As corridas realizadas objetivando os limites máximos de composição química são relevantes devido à troca de bitola de fio-máquina do 6,30 mm para o 7,00mm, ocasionando aumento significativo de propriedades mecânicas devido ao maior grau de encruamento decorrente do aumento na taxa de redução da seção transversal. Apesar de a norma ABNT NBR 7480/2007 não especificar limites máximos de propriedades mecânicas, limites de escoamento e resistência excessivamente elevados em vergalhões não são interessantes para algumas aplicações e causam rupturas prematuras em caso de dobramentoc [5].

### 2.3 Propriedades Mecânicas

Os ensaios para determinação de propriedades mecânicas do CA60 também foram realizados no laboratório de ensaios físicos na própria área industrial na qual o

**Tabela 1.** Composição química inicial do material estudado

Elemento químico	C	Mn	Si
%	0,13	0,60	0,10
	0,17	0,90	0,25

**Tabela 2.** Composição química proposta

Elemento químico	C	Mn	Si
%	0,11	0,40	0,07
	0,15	0,70	0,20

**Tabela 3.** Composição química das corridas teste

	C	Mn	Si
<b>CORRIDA 1</b>	0,11	0,49	0,078
<b>CORRIDA 2</b>	0,10	0,39	0,08
<b>CORRIDA 3</b>	0,18	0,61	0,17
<b>CORRIDA 4</b>	0,15	0,65	0,14

material foi produzido seguindo, assim, o mesmo padrão de liberação de materiais praticado na produção. Ao todo foram 4 amostras para caracterização passe a passe e 28 amostras do produto final. Foram medidas a massa linear de cada amostra, realizados ensaio de tração para determinação de limites de escoamento e resistência, alongamento e relação elástica, bem como ensaios de dobramento e enrolamento.

Os ensaios de dobramento foram realizados aplicando flexão de 180° no material com suas extremidades livres, utilizando pino com diâmetro igual a duas vezes o diâmetro nominal do vergalhão. Os ensaios de enrolamento foram realizados enrolando-se o material em seu próprio eixo por no mínimo 4 voltas. Este ensaio não foi executado por imposição da norma NBR 7480/2007, mas trata-se de prática comum realizada para garantia de qualidade industrial.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Corridas Teste

Neste trabalho serão apresentados as médias dos resultados de 7 amostras por teste, vide Tabela 4. A composição das corridas teste está na Tabela 5. Comparando as Tabelas 4 e 6 observa-se que todos os ensaios estão dentro dos limites especificados pela norma ABNT NBR 7480/2007 [1].

Comparando as corridas 1 e 2, observa-se que a massa linear possui a mesma média entre as 7 amostras de cada corrida. A massa linear se encontra no mínimo estabelecido, o que é causado propositalmente através do ajuste dos cassetes laminadores, para redução de custo no produto final. Também observa-se limites de escoamento e resistência semelhantes entre as corridas. Tais resultados são esperados. O alongamento está diretamente relacionado ao percentual de manganês na composição do aço ao mesmo tempo em que está inversamente relacionado ao aumento do trabalho a frio [6].

Comparando as corridas 3 e 4, a primeira apresenta limites de escoamento e resistência, relação elástica bastante superior e alongamento inferior. Tal resultado se dá pelo alto teor de ligas na corrida que foi objetivada dessa forma

propriamente para testar o limite superior em ligas em conjunto à alta taxa de conformação mecânica.

Ao observar as corridas 1, 2 e 4 percebe-se que as três apresentam limite de escoamento semelhante, porém a corrida 4 apresenta maior limite de resistência e alongamento. Comparando essas três corridas com a corrida 3, atenta-se que a última apresentou limites de escoamento e resistência bastante superiores e alongamento inferior. Tal resultado evidencia a influência do teor de carbono nas propriedades mecânicas [6].

#### 3.2 Ensaios de Dobramento e Enrolamento

As corridas 1, 2 e 4, vide Figura 1, apresentaram ensaios de dobramento e enrolamento satisfatórios conforme critérios já expostos nesse trabalho em todas as amostras. Amostras da corrida 3 apresentaram ensaio de dobramento satisfatório, porém no ensaio de enrolamento apresentaram fissura já na primeira volta sobre o próprio eixo conforme destaque na Figura 2, não atendendo então esta propriedade física.

#### 3.3 Amostragem Passe a Passe

Na Tabela 7 estão as propriedades mecânicas para cada passe, de um total de 3 passes do laminador a frio, do material.

É aparente o ganho em limites de escoamento e resistência, bem como de perda em alongamento, após o 1° passe no laminador a frio. Ao usar o fio-máquina com bitola média 6,30 mm, o material era submetido a redução de 7,94% no primeiro passe. Ao mudar para bitola



Figura 1. Detalhamento do ensaio de enrolamento realizado no material.

Tabela 4. Média dos valores de propriedades mecânicas CA60 produzidos com as corridas 1, 2, 3 e 4

Amostra		Massa linear (g/mm)	Limite Escoamento (MPa)	Limite Resistência (MPa)	Relação Elástica (LR/LE)	Alongamento (%)
CORRIDA 1	Média	0,106	729	778	1,07	7
	Desvio	0,001	8,110	14,519	0,012	0,818
CORRIDA 2	Média	0,106	723	767	1,06	6,10
	Desvio	0,001	16,811	21,430	0,009	0,794
CORRIDA 3	Média	0,112	800	872	1,09	6,22
	Desvio	0,002	11,836	9,785	0,011	0,734
CORRIDA 4	Média	0,106	743	816	1,10	8,38
	Desvio	0,003	9,666	10,750	0,009	1,102

**Tabela 5.** Composição química das corridas elaboradas durante o teste

	C	Mn	Si
<b>PROPOSTA</b>	<b>0,11</b>	<b>0,40</b>	<b>0,07</b>
	<b>0,15</b>	<b>0,70</b>	<b>0,20</b>
<b>CORRIDA 1</b>	0,11	0,49	0,07
<b>CORRIDA 2</b>	0,10	0,39	0,08
<b>CORRIDA 3</b>	0,18	0,61	0,17
<b>CORRIDA 4</b>	0,15	0,65	0,14

**Tabela 6.** Propriedades mecânicas CA60 segundo norma ABNT NBR 7480 [1]

Massa linear (g/mm)	Limite Escoamento (MPa)	Limite Resistência (MPa)	Relação Elástica (LR/LE)	Alongamento (%)
0,109 (+-6%)	mín. 600	mín. 630	mín. 1,05	mín. 5

de 7,00 mm a redução passou a ser 17,14%. O maior ganho nas propriedades mecânicas sempre ocorre no primeiro passe, pois o material ainda não sofreu encruamento [2].

O 3º passe pratica a menor redução e o material já está altamente encruado. Portanto, houve menor ganho de propriedades mecânicas e menor perda de alongamento, permitindo que o produto final apresente propriedades mecânicas acima do limite mínimo especificado pela norma [1].

### 3.4 Análise Tarugo

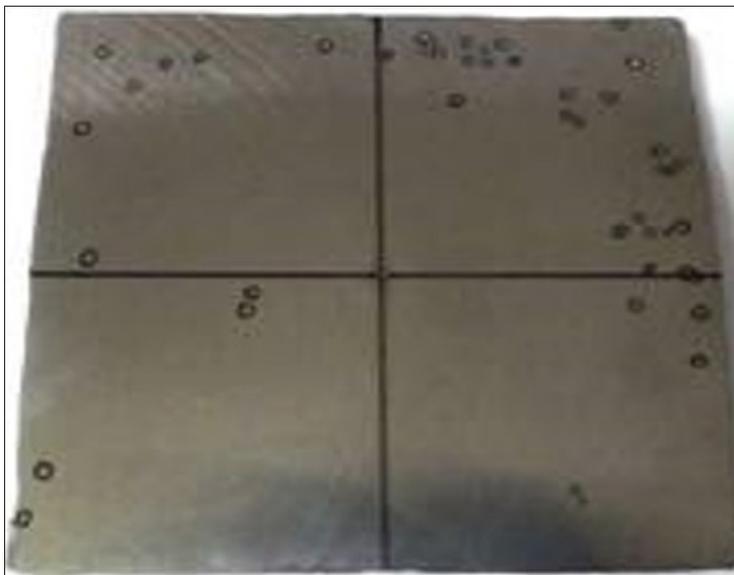
Foi realizada análise de blow-holes, conforme demonstrado na Figura 3, em um tarugo produzido. Foram contabilizados 44 blow-holes, valor aceitável em nível de qualidade interna do aço estabelecido pela empresa produtora do material.

**Tabela 7.** Propriedades mecânicas obtidas em cada passe do laminador a frio

	Bitola (mm)	Redução (%)	Limite Escoamento (Mpa)	Limite Resistência (Mpa)	Relação Elástica (Lr/Le)	Alongamento (%)
<b>Fio máquina</b>	7,12	0,00	321,50	447,00	1,39	29,72
<b>1º passe</b>	5,84	17,14	607,00	710,80	1,17	5,89
<b>2º passe</b>	4,77	17,24	755,20	816,40	1,08	5,13
<b>3º passe (CA60)</b>	4,21	12,50	765,50	858,00	1,12	5,10



**Figura 2.** Detalhamento dos ensaios de enrolamento realizado no material.



**Figura 3.** Análise de blow-holes seção transversal tarugo.

#### 4 CONCLUSÕES

Todos os vergalhões processados atenderam o padrão estabelecido pela norma ABNT NBR 7480.2007.

As corridas com percentuais reduzidos de carbono e manganês na sua composição apresentaram ensaios de dobramento e enrolamento satisfatórios em todas as amostras, enquanto as amostras da corrida com teor mais elevado dessas ligas apresentaram fissura já na primeira volta sobre o próprio eixo no ensaio de enrolamento. Tal resultado evidencia a influência da composição química, sobretudo da influência do teor de carbono no aumento da resistência.

É notório o ganho em limites de escoamento e resistência e perda em alongamento após o 1º passe no laminador a frio. O alongamento sofreu queda significativa, conforme previsto.

Através de análise em tarugo foram contabilizados 44 blow-holes, valor que está dentro da faixa aceitável em nível de qualidade interna do aço pela industria produtora.

É notória a viabilidade da redução de custos em ligas na aciaria mantendo as propriedades mecânicas exigidas no produto final. Ainda, fatores importantes tais como o consumo de energia elétrica mais elevado devido a maior redução a frio do vergalhão devem ser considerados para a efetividade da redução de custos proposta.

#### REFERÊNCIAS

- 1 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7480: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado. Rio de Janeiro: ABNT; 2007.
- 2 Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Siderurgia no Brasil 2010-2025; subsídios para tomada de decisão – Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos; 2010.
- 3 Schaeffer L. Conformação dos metais: metalurgia e mecânica. Porto Alegre: Ed. Rigel; 1995.
- 4 Bruch R. Estudos das perdas térmicas de painéis entre o vazamento no forno elétrico à arco e o transporte para o forno-painel [dissertação]. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2012.
- 5 Hissanaga, BMMS. Variáveis do processo termomecânico que influenciam na relação elástica do vergalhão CA-60 [dissertação]. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia; 2013.
- 6 Chiaverini V. Tecnologia mecânica- estrutura e propriedades das ligas metálicas, 2. ed. Vol. I. São Paulo: McGraw-Hill; 1986.

Recebido em: 15 Nov. 2017

Aceito em: 11 Jun. 2018