

## **Influência das variações de temperatura de recozimento nas propriedades mecânicas e no consumo de energia elétrica do aço SAE 1006**

### **Influence of annealing temperature variations on the mechanical properties and electrical energy consumption of SAE 1006 steel**

DOI:10.34117/bjdv8n5-163

Recebimento dos originais: 21/03/2022

Aceitação para publicação: 29/04/2022

#### **Wallace Pará Mendes**

Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Materiais

Instituição: Campus Zona Oeste – UERJ-RJ

Endereço: Av. Manoel C. de Alvarenga, 1203 – Campo Grande - Rio de Janeiro - RJ

E-mail: wallacepara@hotmail.com

#### **Carlos Alberto Martins Ferreira**

Professor do Departamento Naval e Pesca

Instituição: Centro de Tecnologia e Ciências - Campus Zona Oeste – UERJ-RJ

Endereço: Av. Manoel C. de Alvarenga, 1203 – Campo Grande – Rio de Janeiro - RJ

E-mail: professorcarlosferreira@gmail.com

#### **Mauro Carlos Lopes Souza**

Professor do Departamento de Metalurgia

Instituição: Faculdade de Engenharia - Campus Zona Oeste; UERJ-RJ

Endereço: Av. Manoel C. de Alvarenga, 1203 – Campo Grande – Rio de Janeiro – RJ

E-mail: mauroclsouza@hotmail.com

### **RESUMO**

Este trabalho avaliou a influência das variações de temperatura de recozimento nas propriedades mecânicas e no consumo de energia elétrica do aço SAE 1006, com o objetivo de identificar melhores propriedades para os menores custos de processo. Para o tratamento térmico de recozimento, foram utilizados diferentes temperaturas e tempos de enxarque e, posteriormente, foram realizadas técnicas de caracterizações como ensaios de tração, dureza e metalografia para avaliar a microestrutura e tamanho de grãos. Os resultados mostram que existe possibilidade de reduzir os custos operacionais controlando os parâmetros de forma a manter uma melhor qualidade do material oferecido ao cliente. Foi possível identificar também que as amostras 1 e 2 mostraram resultados satisfatórios quanto as propriedades e custos e a amostra 4 apresentou crescimento de grão demasiado.

**Palavras-chave:** recozimento, microestrutura, tamanho de grão, propriedades mecânicas.

### **ABSTRACT**

This work evaluated the influence of annealing temperature variations on the mechanical properties and electrical energy consumption of SAE 1006 steel, with the objective of identifying better properties for the lowest process costs. For the annealing heat

treatment, different temperatures and soaking times were used and, later, characterization techniques such as tensile, hardness and metallography tests were carried out to evaluate the microstructure and grain size. The results show that there is a possibility of reducing operating costs by controlling the parameters in order to maintain a better quality of the material offered to the customer. It was also possible to identify that samples 1 and 2 showed satisfactory results in terms of properties and costs and sample 4 showed too much grain growth.

**Keywords:** Annealing, microstructure, grain size, mechanical properties.

## 1 INTRODUÇÃO

Os processos de produção nem sempre conseguem fornecer o material na qualidade exigida pelo cliente e na grande maioria das indústrias siderúrgicas, existem uma série de riscos que decorrem de falhas no controle dos parâmetros (Chiaverini, 1995). Isso tem impacto direto na qualidade dos produtos, segundo Cardoso et al. (2019). Por esse motivo pesquisas relacionadas ao comportamento do aço, são extremamente importantes para melhorar a produtividade e as propriedades mecânicas dos materiais, pois, reduzem os custos operacionais, de acordo com Barcelos et al. (2013).

Os aços de baixo carbono estão colocados entre os mais utilizados no mundo devido suas aplicações e diversas propriedades mecânicas. Essa última, inclusive, necessita ser sempre estudada devido ao alto grau de exigência dos clientes e aos custos envolvidos no processo de produção.

O material, em questão, passa por dois importantes processos de fabricação: Laminação e Trefilação. No processo de laminação, que tem como objetivo transformar o tarugo de aço em fio máquina. O material tem elevada tensão interna e sofre um aumento de sua fragilidade devido ao processo de conformação exercido pelos cilindros. No processo de Trefilação, o material é puxado de forma a passar uma matriz, que reduz sua seção. Se a fragilidade for muito alta, o arame se rompe durante o processo, gerando aumento dos custos de produção e, por consequência, perda de produtividade. Esses aços possuem amplas aplicações na área da construção civil, que são os principais clientes desse produto.

Segundo Chiaverini (1995), o tratamento térmico de recozimento é importante para remover tensões internas, geradas por esses processos de tratamentos térmicos, diminuir a dureza, aumentar a ductilidade, ajustar o tamanho do grão, regularizar a textura bruta de fusão, produzir uma estrutura definida e eliminar efeitos de qualquer tratamento que tenha sido feito no material anteriormente.

Com base no citado acima e com o objetivo de aumentar a produtividade e minimizar os custos, estudos para encontrar parâmetros ótimos, para os tratamentos de recozimento, são realizados. Desta forma reduzindo a ocorrência de defeitos e retrabalhos e aumentando a qualidade dos produtos entregues aos clientes.

Neste trabalho, estudou-se o comportamento do aço SAE 1006 para diferentes parâmetros de temperatura, de forma se encontrar as melhores propriedades e os menores custos com energia.

Para realização deste estudo, foram utilizados 3 parâmetros de processos diferentes, como: temperatura de aquecimento, tempo do material dentro do forno e tempo de resfriamento.

Após a realização dos tratamentos de recozimento, as amostras foram submetidas a ensaios de tração, dureza e micrografia. Foram feitas comparações com a amostra sem tratamento térmico, para avaliação das propriedades mecânicas.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Neste trabalho foi utilizado aço SAE 1006 recebido na forma de arame com diâmetro de 2,70 mm. 6 amostras desse material, foram cortadas com 15 cm de comprimento, utilizando-se tesoura de corte manual.

### 2.2 RECOZIMENTO

O tratamento térmico de recozimento foi realizado em um forno mufla Jung 1200 e para análise do comportamento do material foi levando em consideração os parâmetros de processo em escala industrial, onde a segunda amostra foi tratada com temperatura de 690°C por um tempo de 3h, a terceira amostra a temperatura de 700°C por 8h, a quarta amostra à 735°C por 10h, a quinta amostra a 760°C por 6h e a sexta amostra a 770°C por 2h. A primeira amostra não recebeu tratamento térmico com o objetivo de comparar as propriedades após o recozimento e analisar os custos envolvidos no processo.

Para obtenção da potência elétrica no tratamento de recozimento, utilizou-se a equação:  $P = V \cdot I \cdot \cos \varphi$  (1), Onde: P = Potência; V = Tensão Elétrica; I = Corrente Elétrica e  $\cos \varphi$  = Constante de Defasagem.

Posteriormente e para obtenção das potências no enxarque e na manutenção de temperatura, foram utilizadas as equações: a)  $P_{te} = P_e \cdot \Delta t$  (2), Onde: Pte = Potência total no enxarque; Pe = Potência no enxarque; Pte = Potência total no enxarque; Pe = Potência

no enxarque e  $\Delta t$  = Variação do tempo no enxarque. b)  $P_{tm} = P_m \cdot \Delta t$  (3), Onde:  $P_{tm}$  = Potência total na manutenção;  $P_m$  = Potência na manutenção;  $\Delta t$  = Variação do tempo na manutenção.

Para obtenção do consumo de energia elétrica durante o tratamento térmico de recozimento, foi utilizada a equação: c)  $E = P_t \cdot \Delta t$  (4), Onde:  $E$  = Energia elétrica;  $P_t$  = Potência total;  $\Delta t$  = Variação do tempo.

### 2.3 ENSAIOS DE TRAÇÃO

O ensaio de tração foi realizado na máquina de tração Shimadzu, modelo FN 1000 kNX.

A preparação dos corpos de prova para ensaio de tração foi realizada baseada no anexo C da norma ISO 6892-1:2016 que trata dos tipos de corpos de provas a serem usados para fios, barras e seções com diâmetros ou espessuras inferiores a 4mm.

O corpo de prova foi marcado, utilizando-se caneta de marcação permanente, no comprimento da média original  $L_0$  em 100 mm e  $L_0 + 20$  mm para a distância entre as garras da máquina.

Para posteriormente se realizar a análise de estricção, foi feita a medida do diâmetro do corpo de prova utilizando paquímetro digital Mitutoyo, com precisão de 0,01 mm.

Para análise do escoamento do material, o extensômetro foi colocado no corpo de prova entre as marcações de  $L_0$  e posteriormente o corpo de prova foi preso nas garras superior e inferior da máquina de tração.

O ensaio de tração foi realizado com velocidade de 1 mm/min e o extensômetro foi retirado a 2% da deformação para preservação do mesmo. Após a retirada do extensômetro a máquina tracionou o material até a ruptura.

Após a ruptura, o material foi retirado das garras da máquina e posicionado na bancada para medição do alongamento e estricção.

O valor do alongamento foi determinado unindo as faces fraturadas e realizando a medição, com o paquímetro digital, exatamente na marcação  $L_0$ , obtendo-se assim o valor  $L_f$ . É extremamente importante que as faces estejam corretamente faceadas para que não ocorram erros durante a medição de  $L_f$  e conseqüentemente valores incorretos para o alongamento. Para o cálculo do percentual do alongamento, utilizou a equação 5.

$$\varepsilon = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100 [\%] \quad (5)$$

Onde:  $\varepsilon$  = Deformação (%);  $L_o$  = Comprimento inicial do CP (mm) e  $L_f$  = Comprimento final do CP (mm).

O valor da estrição, percentual de redução da área, foi realizado medindo o menor diâmetro do corpo de prova, com paquímetro digital, exatamente na região da fratura. Para cálculo do percentual de redução de área, utilizamos a Equação 6.

$$\psi = \frac{A_o - A_f}{A_o} \times 100 [\%] \quad (6)$$

Onde:  $\psi$  = Estricção (%);  $A_o$  = Área da seção transversal inicial (mm<sup>2</sup>) e  $A_f$  = Área da seção transversal final (mm<sup>2</sup>)

## 2.3 METALOGRAFIA

### 2.3.1 Corte do corpo de prova

Os corpos de prova para análise metalográfica foram cortados nas dimensões de 5 mm, na máquina de corte automática, modelo Mecatome T300, fabricante Presi e seguindo as recomendações da norma ABNT NBR 13284:1995 Preparação de corpos-de-prova para análise metalográfica – Procedimento.

### 2.3.2 Embutimento

O equipamento utilizado para o embutimento foi o forno câmara, modelo TB0961201 e fabricante Jung. A temperatura foi programada em 120°, o tempo para resfriamento em 5 minutos, a pressão entre 125 kgf e 150 kgf, o material utilizado foi baquelite, seguindo as recomendações da norma ABNT NBR 13284:1995 Preparação de corpos-de-prova para análise metalográfica – Procedimento.

O corpo de prova foi colocado na prensa com a face a ser analisada virada para baixo e o baquelite foi colocado na medida entre 2 à 5 vezes a espessura desejada.

### 2.3.3 Micrografia

A micrografia foi realizada utilizando microscópio ótico Olympus, modelo GX51. O tamanho de grão foi aumentado em 100x e analisado de acordo com a norma

ASTM E112:13(2021) - Métodos de teste padrão para se determinar o tamanho médio de grão.

### 2.3.4 Ensaio de microdureza

O equipamento utilizado para o ensaio de microdureza HV2.0 foi o Micro Vickers Hardness Tester HMV-G, fabricante Shimadzu. As amostras utilizadas no ensaio de dureza foram as mesas utilizadas na micrografia e o ensaio foi realizado em 3 pontos para cada corpo de prova, sendo realizado posteriormente uma média dos valores encontrados.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA

A composição química do Aço SAE 1006 foi determinada, utilizando-se um espectômetro de emissão ótica, fabricado pela Oxford Instruments, modelo Foundary Master Pro, conforme mostrado na Tabela 1.

A Tabela 1 apresenta os resultados dos principais elementos da composição química do material, considerando os percentuais de cada elemento.

Tabela 1 - Composição Química do Aço SAE 1006.

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
0,032	0,184	0,303	0,019	0,015	0,008	0,005

### 3.2 TRATAMENTOS TÉRMICOS DE RECOZIMENTO

Foram obtidos os valores para potência elétrica e consumo de energia para as amostras tratadas termicamente. A amostra 2 utilizou uma potência de 40,05 Kw e consumiu um total de 148,84 Kwh, amostra 3 uma potência de 87,94 Kw e consumiu 768,05 Kwh, amostra 4 utilizou uma potência de 107,53 Kw e consumiu um total de 1157,74 Kwh, amostra 5 uma potência de 69,96 Kw e consumiu 475,72 Kwh e a amostra 6 uma potência de 32,12 Kw e consumiu 90,48 Kwh, conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 – Consumo de Energia Elétrica

Amostras	Temperatura (°C)	Enxarque (horas)	Manutenção (horas)	Potência total (kw)	Energia (Kwh)
2	690	0,72	3,00	40,05	148,84
3	700	0,73	8,00	87,94	768,05
4	735	0,77	10,00	107,53	1157,74
5	760	0,80	6,00	69,96	475,72
6	770	0,82	2,00	32,12	90,48

### 3.3 ENSAIOS DE TRAÇÃO

Foram obtidos os valores de diâmetro, área, escoamento, força máxima, tensão máxima, alongamento medido, alongamento percentual e redução de área para todas as amostras sem tratamento e com tratamento térmico de recozimento.

A amostra 1, sem tratamento térmico, apresentou um diâmetro de 2,67 mm e uma área de 5,60 mm<sup>2</sup>, marcando o escoamento, limite da deformação elástica e início da deformação plástica, em 108,95 Mpa. A força máxima suportada pelo material foi de 1,63 KN, seguido de uma tensão máxima de 291,01 Mpa. O alongamento medido no material foi de 131,09 mm, gerando um percentual de alongamento de 31,66 e uma redução de área de 73,67%, conforme mostrado na Figura 10 (a) e (b).

Para a amostra 2, o tratamento foi feito a 690° C por 3h. Esta apresentou um diâmetro de 2,68 mm e uma área de 5,64 mm<sup>2</sup>, marcando o escoamento, limite da deformação elástica e início da deformação plástica, em 86,33 Mpa. A força máxima suportada pelo material foi de 1,60 KN, seguido de uma tensão máxima de 283,57 Mpa. O alongamento medido no material foi de 132,92 mm, gerando um percentual de alongamento de 33,28 e uma redução de área de 78,94%.

Um tratamento a 700° C por 8h, foi feito para a amostra 3. Esta apresentou um diâmetro de 2,68 mm e uma área de 5,64 mm<sup>2</sup>, marcando o escoamento, limite da deformação elástica e início da deformação plástica, em 54,48 Mpa. A força máxima suportada pelo material foi de 1,54 KN, seguido de uma tensão máxima de 272,30 Mpa. O alongamento medido no material foi de 132,03 mm, gerando um percentual de alongamento de 31,86 e uma redução de área de 75,00%.

A amostra 4, que recebeu tratamento de 735° C por 10h, apresentou um diâmetro de 2,69 mm e uma área de 5,68 mm<sup>2</sup>, marcando o escoamento, limite da deformação elástica e início da deformação plástica, em 77,72 Mpa. A força máxima suportada pelo material foi de 1,45 KN, seguido de uma tensão máxima de 255,96 Mpa. O alongamento medido no material foi de 113,51 mm, gerando um percentual de alongamento de 13,84 e uma redução de área de 63,73%.

Para a amostra 5, o tratamento foi feito a 760° C por 6h. Esta apresentou um diâmetro de 2,72 mm e uma área de 5,81 mm<sup>2</sup>, marcando o escoamento, limite da deformação elástica e início da deformação plástica, em 105,86 Mpa. A força máxima suportada pelo material foi de 1,37 KN, seguido de uma tensão máxima de 234,94 Mpa. O alongamento medido no material foi de 108,69 mm, gerando um percentual de alongamento de 7,92 e uma redução de área de 53,24%.



A amostra 6, que recebeu tratamento de 770° C por 2h, apresentou um diâmetro de 2,69 mm e uma área de 5,68 mm<sup>2</sup>, marcando o escoamento, limite da deformação elástica e início da deformação plástica, em 149,96 Mpa. A força máxima suportada pelo material foi de 1,44 KN, seguido de uma tensão máxima de 253,22 Mpa. O alongamento medido no material foi de 112,56 mm, gerando um percentual de alongamento de 12,11 e uma redução de área de 66,80%.

A Tabela 3 e as figuras 1 e 2 mostram os resultados para os ensaios de tração. As amostras 2 e 3 tiveram os maiores resultados para o alongamento medido, sendo que a amostra 5 teve o menor resultado para alongamento medido. A amostra 6 teve o melhor resultado para o limite de escoamento e a amostra 3 teve o menor resultado. A amostra que não recebeu tratamento térmico apresentou o maior resultado para tensão máxima, concordando com a análise de dureza que será vista mais à frente, sendo a amostra 5 a que apresentou o menor valor para tensão máxima.

Tabela 3 – Resultados do Ensaio de Tração

	Diâmetro (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Limite Escoamento (0,2%)	Força máxima (KN)	Tensão máxima (Mpa)	Alongamento medido (mm)	Alongamento (%)	Redução Área (%)
Sem tratamento	2,67	5,60	108,95	1,63	291,01	131,09	31,66	73,67
690°C	2,68	5,64	86,33	1,60	283,57	132,92	33,28	78,94
700°C	2,68	5,64	57,48	1,54	272,30	132,03	31,86	75,00
735°C	2,69	5,68	77,72	1,45	255,96	113,51	13,84	63,73
760°C	2,72	5,81	105,86	1,37	234,94	108,69	7,92	53,24
770°C	2,69	5,68	149,96	1,44	253,22	112,56	12,11	66,80

Figura 1: Gráfico tensão x deformação de todas as amostras

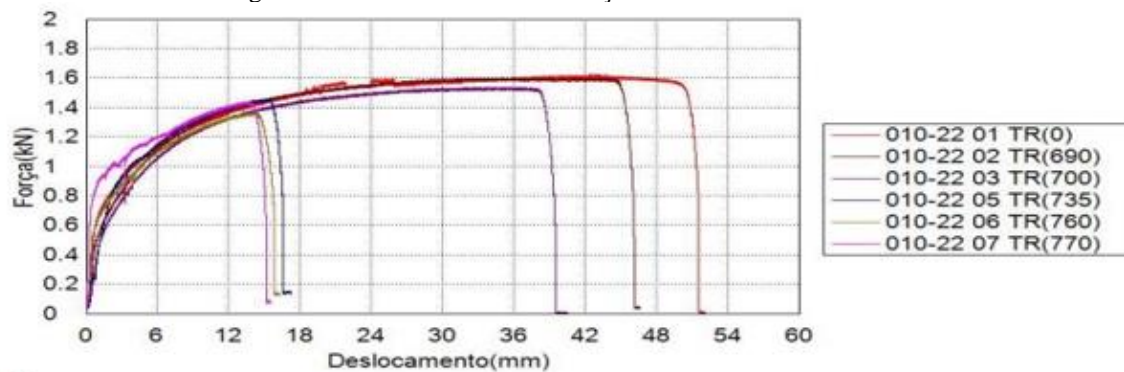
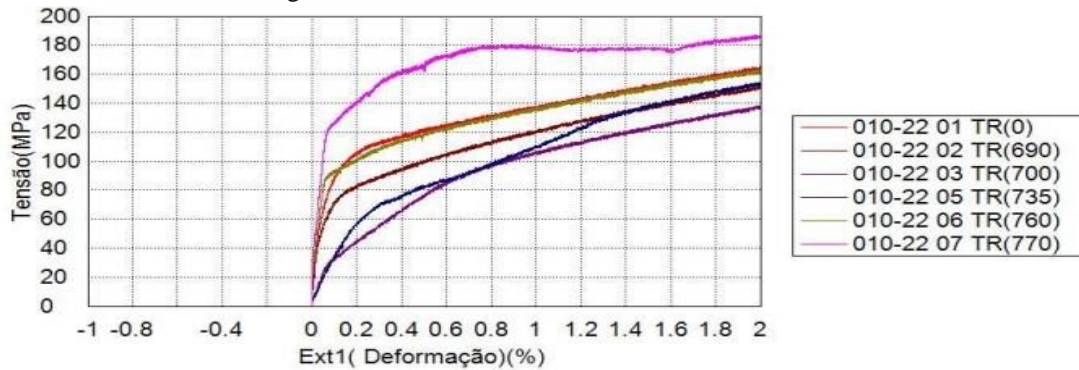




Figura 2: Limite de escoamento das amostras analisadas



### 3.4 DUREZA

Foram obtidos os valores de três microdurezas HV para cada amostra e o resultado mostra uma média de 101 HV para amostra 1, 101 HV para a amostra 2, 90 HV para a amostra 3, 93 HV para a amostra 4, 91 HV para amostra 5, 90 HV para a amostra 6 e 101 HV para a amostra que não recebeu tratamento térmico (Tabela 4).

Tabela 4 – Microdureza (HV)

	Amostra 1 s/ Tratamento	Amostra 2 690°C	Amostra 3 700°C	Amostra 4 735°C	Amostra 5 760°C	Amostra 6 770°C
Dureza 1	101	100	96	93	92	95
Dureza 2	99	103	87	96	86	86
Dureza 3	103	101	87	89	95	90
Média	101	101	90	93	91	90

Foram obtidos resultados próximos aos valores referenciados na bibliografia por Santos et. al. (2017), que encontrou resultados entre 90 HV e 95 HV.

### 3.5 METALOGRAFIA

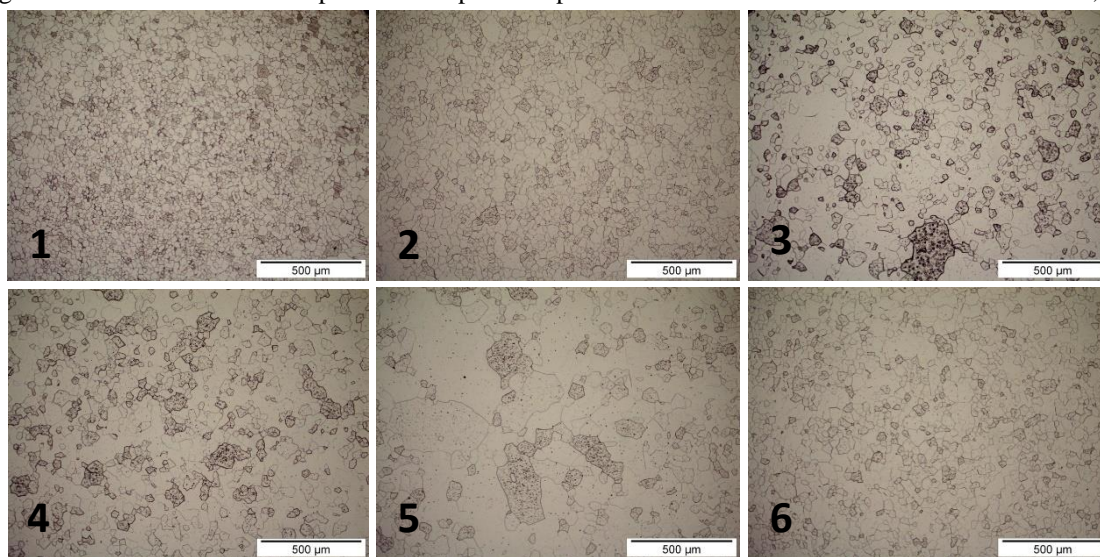
#### 3.5.1 Avaliação da micrografia

A figura 3 mostra as microestruturas obtidas por microscopia ótica das amostras analisadas, sendo observada predominância de grãos arredondados,  $\alpha$  e precipitados de perlita em todas as análises.

A amostra 1, apresentou resultados semelhantes aos encontrado por Lima et. al. (2006) com relação a grãos não alongados. A amostra 2 mostra um leve aumento do comprimento médio de intercepto quando comparado a amostra 1 e grãos com tamanhos não concordantes. A amostra 3 um leve aumento do comprimento médio do intercepto quando comparado com a amostra 2 e crescimento demasiado de grão em alguns pontos da estrutura. A amostra 4 um leve aumento do comprimento médio do intercepto quando

comparado com a amostra 3, não apresentando crescimento demasi-ado de grão. A amostra 5 mostra um aumento significativo do comprimento médio do intercep-to quando comparado com a amostra 1, além de apresentar crescimento demasiado do tamanho de grão. A amostra 6 mostra um leve crescimento do intercepto em relação a amostra 1, além de apresentar melhor concordância de grãos em relação aos demais e não apresentar aumento demasiado do tamanho do grão ao longo da microestrutura.

Figura 3: Microestrutura obtida por microscopia ótica para as amostras analisadas com aumento de 100x;



### 3.5.2 Tamanho de grão

A Tabela 5 mostra o tamanho de grão para cada parâmetro de tratamento térmico que foi utilizado no estudo e é possível verificar que a amostra que não foi submetida a tratamento térmico, teve um comprimento médio do intercepto de 16,8 µm. Enquanto que a amostra 5 teve um crescimento exagerado do comprimento do intercepto, chegando a valores na casa de 80,5 µm, confirmando na bibliografia de Lima et. al. (2006).

Tabela 5 – Tamanho de Grão para Cada Parâmetro de Recozimento

Recozimento		Tamanho de grão		
Temperatura (°C)	Tempo (h)	Comprimento médio do intercepto (µm )	Número do tamanho de grão	Modelo G
s/tratamento		16,8	8,5	8,9
690	3	21,6	7,8	8,2
700	8	27,3	7,1	7,7
735	10	29,7	6,9	7,4
760	6	80,5	4,0	5,4
770	2	28,0	7,0	7,6

Os resultados evidenciam o que foi mencionado nas referências bibliográficas quanto ao crescimento dos grãos para o tratamento de térmico de recozimento, onde todas as amostras tiveram crescimento significativo em relação a amostra que não recebeu tratamento térmico.

Os resultados também evidenciam o que foi encontrado por Lima et. al. (2006) e confirmado no estudo para amostra 5, onde é possível verificar crescimento exagerado dos grãos em alguns pontos da microestrutura.

#### **4 CONCLUSÕES**

O estudo da influência das variações de temperatura nas propriedades mecânicas do aço SAE 1006 e no consumo de energia elétrica mostrou que existe possibilidade de se reduzir o custo operacional, controlando os parâmetros de processo de forma a manter uma melhor qualidade do que é oferecido ao cliente.

Comparando os resultados dos ensaios para o aço estudado, ficou evidente que:

A amostra 2 teve os melhores resultados, em relação as amostras que foram tratadas, referentes as propriedades de tensão máxima e alongamento. É possível notar pelos resultados que os dados referentes a tensão de escoamento não foram tão satisfatórios. Além de apresentar tamanho de grão dentro da normalidade e custo considerável. Esta amostra não apresentou redução da dureza.

A amostra 3 apresentou bons resultados para a tensão máxima e alongamento, mas um limite de escoamento mais baixo em relação as demais amostras. O tamanho de grão ficou dentro da normalidade mas com custo melhor apenas do que a amostra 4.

A amostra 4 apresentou tensão máxima e alongamento intermediários, além de apresentar um limite de escoamento baixo em relação a outras amostras. O tamanho de grão ficou dentro da normalidade, porém foi a amostra que apresentou o maior custo entre as que receberam o tratamento térmico de recozimento.

A amostra 5 apresentou tensão máxima intermediária entre as amostras, porém o alongamento foi o mais baixo entre as amostras tratadas, provavelmente causado pelo crescimento em demasia do tamanho grão, causados pelo parâmetro utilizado.

A amostra 6 teve o melhor comportamento em relação a propriedade de limite de escoamento, porém não apresentou resultados satisfatórios em relação a tensão máxima e alongamento.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13284: Preparação de corpos-de-prova para análise metalográfica – Procedimento. 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 6892-1: Materiais metálicos — Ensaio de Tração. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. E112:13 – 2021 – Métodos de Teste Padrão para Determinação do Tamanho médio de Grão.

BARCELOS, M. V., VIEIRA, E. A., OLIVEIRA, N. J. L., MACHADO, M. L. P., Análise do comportamento mecânico de um aço estrutural através de ensaios de torção. REM. Ouro Preto, MG, v. 66, n. 3, p. 317-322, jul./set. 2013.

CALLISTER, W. D., Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. John Wiley & Sons, Inc., 2002.

CHIAVERINI, V.: "Tecnologia Mecânica" Processos de fabricação e tratamento, 2ª Edição, Vol. 2, Pearson, 1995.

ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, parte integrante da ABM Week, realizada de 26 a 30 de setembro de 2016, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

LIMA, et. al.; Evolução da microestrutura e da textura de recristalização, após baixos graus de deformação a frio, em dois aços ferríticos com baixo teor de carbono. 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 15 a 19 de Novembro de 2006, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.

PADILHA, A. F.; Encruamento, recristalização, crescimento de grão e textura. 3 ed. Rev e Ampl. São Paulo, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais 2005.

SANTOS, et. al.; Influência das variáveis de processo de recozimento em caixa e laminação de encruamento nas propriedades magnéticas de aço carbono laminado a frio. Contribuição técnica ao 71º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 16º