

O tratamento térmico de têmpera e revenimento a vácuo de um bloco de aço AISI H13, dimensões 300x300x300 mm, monitorado com quatro termopares de contato

João Carmo Vendramim <sup>1</sup>

Jan Vataavuk <sup>2</sup>

Thomas H Heiliger <sup>3</sup>

R Jorge Krzesimovski <sup>4</sup>

Anderson Vilele <sup>5</sup>

## Resumo

Esta contribuição técnica descreve o tratamento térmico realizado para um bloco de aço AISI H13, dimensões 300x300x300 mm, realizado em forno de têmpera a vácuo com resfriamento de gás nitrogênio sob pressão de 9 bar e monitorado com quatro termopares de contato.

As temperaturas do processo no bloco de aço foram monitoradas com os termopares dispostos em quatro distintas posições. Uma face do bloco recebeu o termopar na posição central à profundidade de 15 mm, aproximadamente, para monitorar a temperatura da superfície. A outra face do bloco recebeu três termopares dispostos na diagonal para monitorar as temperaturas do processo nas profundidades de 38,0; 76,0 e 150,0 mm, respectivamente.

Os resultados obtidos com esse monitoramento são mostrados em toda a extensão do processo que compreende as etapas de aquecimento, austenitização e resfriamento. Um bloco de menor tamanho foi extraído do bloco processado para a construção de corpos de prova e realização de ensaio de impacto às profundidades de 5,0; 50,0 e 90,0 mm. Nas profundidades para o ensaio de impacto, selecionou-se um corpo de prova de cada condição para a inspeção da microestrutura.

**Palavras Chave:** têmpera vácuo; tratamento térmico; aço trabalho a quente

---

[1]; [3]; [4] e [5] – Colaboradores Isoflama Indústria e Comercio de Equip. Ltda

[2] – Prof. Dr. Universidade Mackenzie – Faculdade de Engenharia de Materiais

## 1. Introdução

O setor industrial mostra crescentes exigências para o pleno atendimento às propriedades mecânicas de aços ferramentas, principalmente para aqueles de moldes, matrizes e, ou, ferramentas. Isso é compreensível, pois além da utilização de modernas máquinas de melhor ajuste mecânico espera-se que esses produtos de elevados custos apresentem o melhor desempenho, ou vida útil. As propriedades, por exemplo, resistência ao desgaste, abrasivo ou adesivo, ou resistência a corrosão, são alcançadas e potencializadas com o tratamento térmico corretamente executado. Não basta concluir que a dureza especificada em projeto está atendida, sendo necessário que a morfologia e homogeneidade da microestrutura estejam corretamente formadas ao longo da seção transversal de um bloco de aço. Propriedades mecânicas melhoradas, ou potencializadas, estão relacionadas à uniforme microestrutura.

A tecnologia de têmpera a vácuo experimenta crescentes mudanças tecnológicas para proporcionar o melhor monitoramento de processo mediante termopares colocados diretamente num bloco de aço que poderia ser um molde, matriz, ou ferramenta, ou mesmo um bloco de aço de volume equivalente a da peça para a têmpera. A condição de monitoramento e registro de todas as fases do processo (aquecimento, manutenção e resfriamento) tem grande relevância para o sucesso do tratamento térmico, pois permite conhecer como o aço se comporta nas etapas mais críticas. Essa contribuição descreve a situação de têmpera a vácuo de um bloco de aço com dimensões 300x300x300 mm sob pressão 9 bar de resfriamento com gás nitrogênio e, posteriormente, submetido a quatro ciclos térmicos de revenimento. Mostra-se o comportamento térmico do aço em todas as etapas do processo e, posteriormente, resultados obtidos para o ensaio de impacto – teste Charpy – realizado em corpos de prova extraídos desse bloco de aço.

## 2. Metodologia

A composição química do bloco de aço AISI H13 está apresentada na Tabela 1 abaixo:

Tabela 1 – Composição química do aço do bloco AISI H13

C	Mn	Si	S	P	Cr	Mo	V
0,36	0,40	0,92	0,001	0,009	5,15	1,22	0,85

O bloco de aço de dimensões 300x300x300 mm, AISI H13, preparado para receber quatro termopares de contato e monitoramento das temperaturas às profundidades de 15,0; 38,0; 75,0 e 150,0 mm, é mostrado em detalhe nas Figuras 1 (a) e (b). A austenitização foi realizada à temperatura de 1025 °C, conforme recomendação do fabricante desse aço e os revenimentos às temperaturas de 540; 580 e 570 e 573 °C, respectivamente.

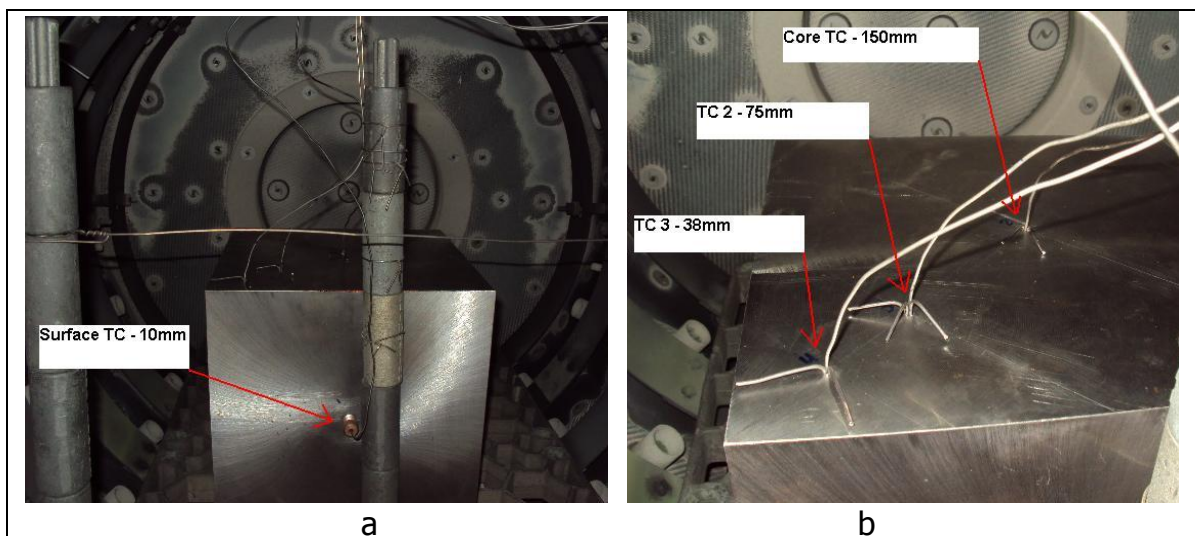


Figura 1 – Bloco de aço H13 com termopares de monitoramento. (a) Superfície; (b) Termopares (TC) a 38,0; 75,0; e 150 mm

A Figura 2 apresenta o bloco de aço depois da têmpera e quatro revenimentos para a dureza final de 50,0 HRC. A dureza escala Rockwell "C" foi examinada em equipamento portátil "Equotip" 2, fabricante Proceq®, ponteira de diamante, para nove (9) posições por face, totalizando 54 ensaios de dureza.

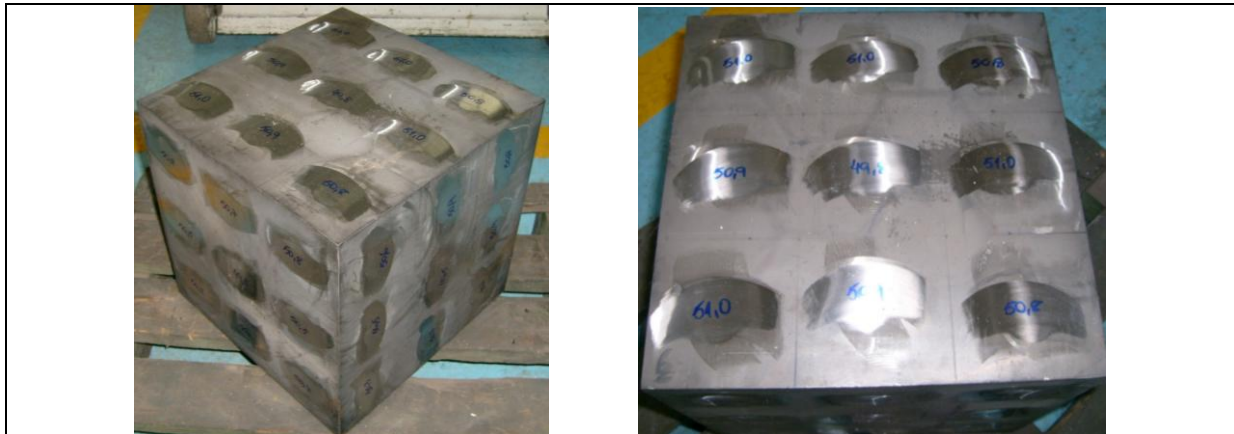


Figura 2 – Bloco de aço com marcações de dureza HRC

O tratamento térmico de têmpera a vácuo foi realizado em forno de tecnologia Seco-Warwick<sup>®</sup>, dimensões úteis 600x600x900 mm, capacidade 1000 kg, e com pressão de 9 bar de resfriamento com gás nitrogênio para o bloco de aço da Figura 1a. A Figura 3 apresenta o forno de têmpera a vácuo (a) e o forno de revenimento a vácuo, também de tecnologia Seco-Warwick<sup>®</sup> utilizados para o tratamento térmico do bloco de aço.

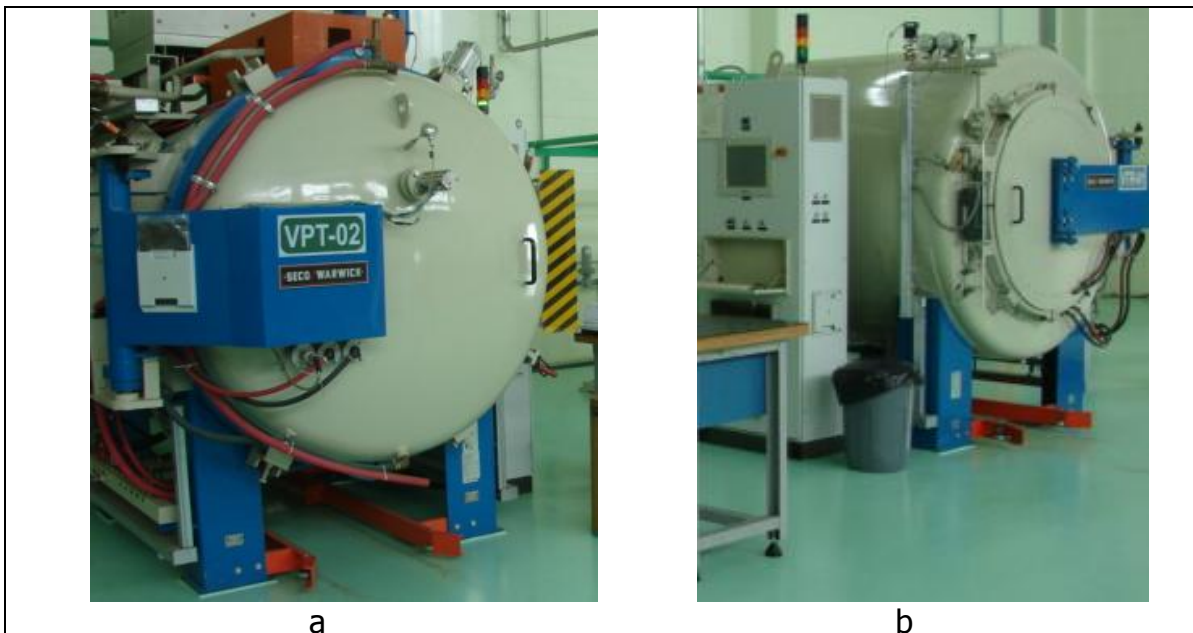


Figura 3 – (a) Forno de Têmpera 12 bar; (b) Forno de Revenimento

A Figura 4 apresenta o bloco de aço cortado destacando o bloco de menor dimensão extraído deste para a retirada de corpos de provas dos ensaios de impacto. Os corpos de prova do bloco da Figura 4b foram retirados a partir das profundidades 5,0; 50,0 e 90,0 mm. O ensaio de impacto – teste Charpy – realizado conforme ASTM A370, entalhes em “V” e “U” e à temperatura ambiente.

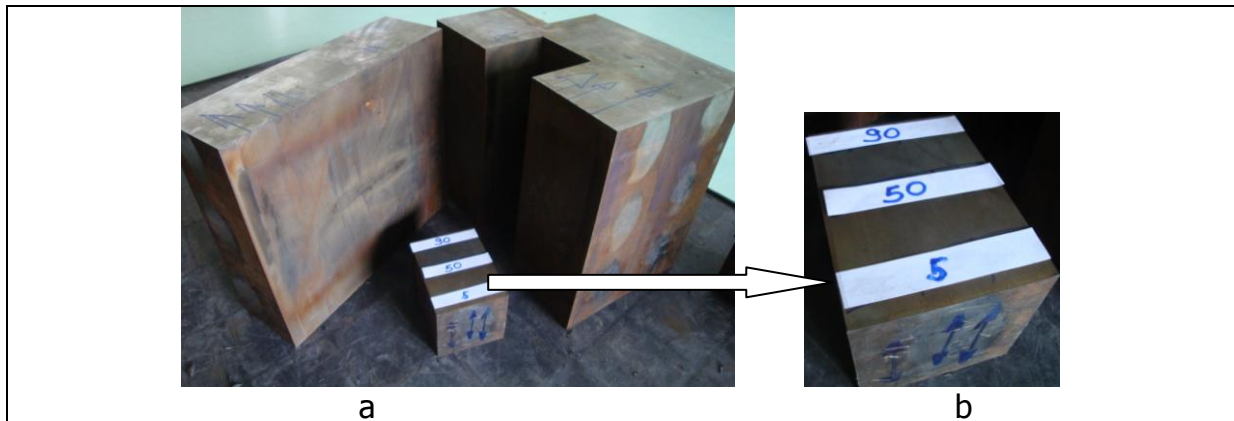


Figura 4 – Bloco de aço extraído do bloco de 300x300x300 mm

A Figura 5 reproduz a imagem da tela de controle e monitoramento do forno para todos os parâmetros de processo utilizados nesse tratamento térmico.

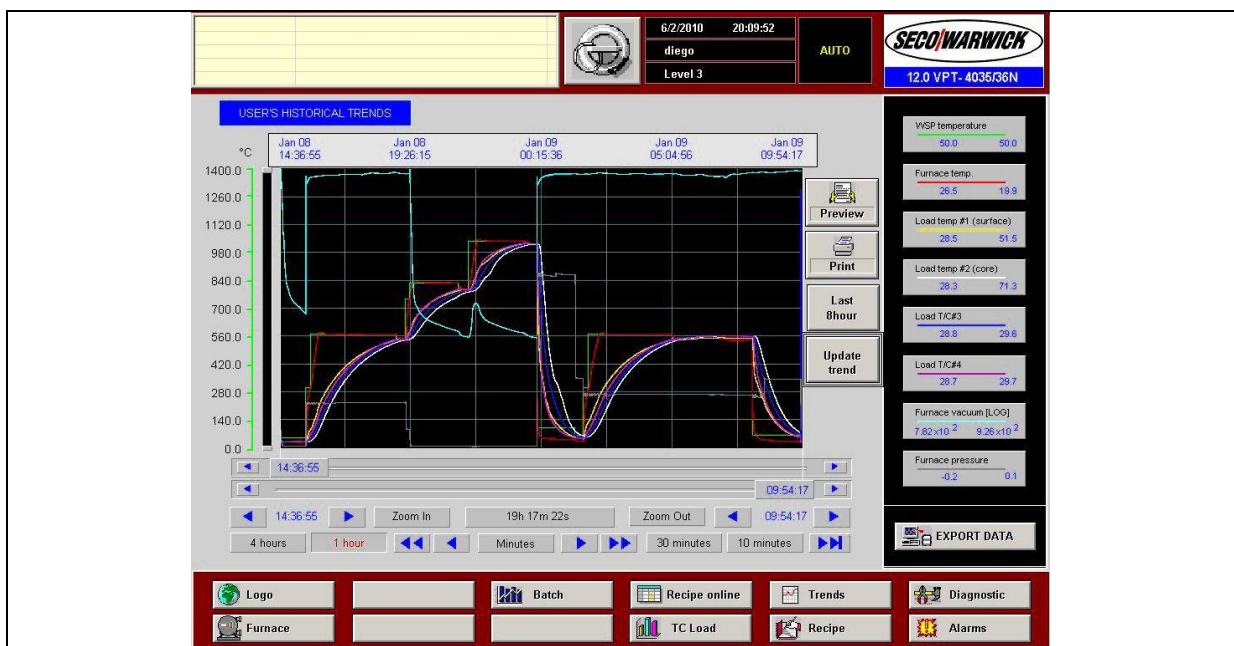


Figura 5 – Tela principal do forno para o controle dos parâmetros de processo

### 3. Resultados

A Figura 6 apresenta detalhadamente todos os ciclos de tratamentos térmicos conduzidos para o bloco de aço e as durezas finais obtidas depois do terceiro revenimento. A Figura 7 apresenta os resultados de dureza para todas as faces depois do quarto revenimento.

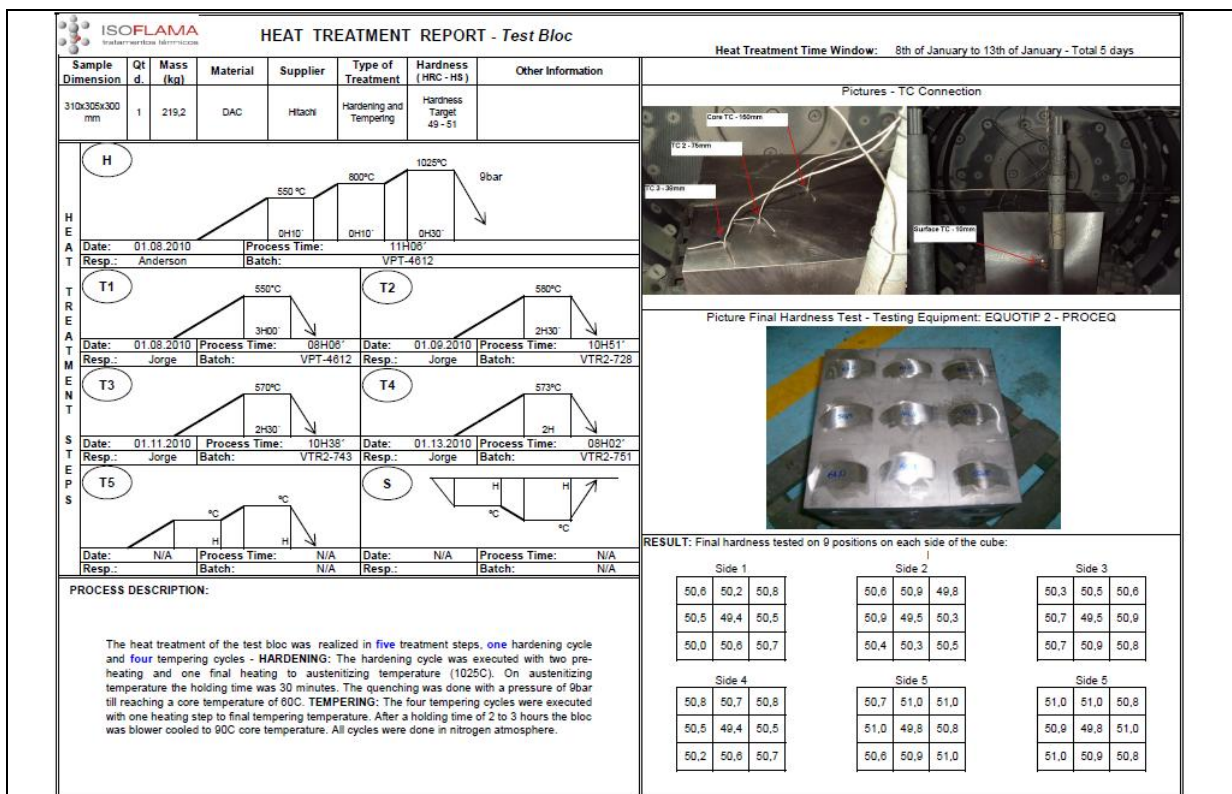


Figura 6 – Vista geral dos ciclos de tratamentos térmicos realizados e resultados de dureza depois do terceiro revenimento

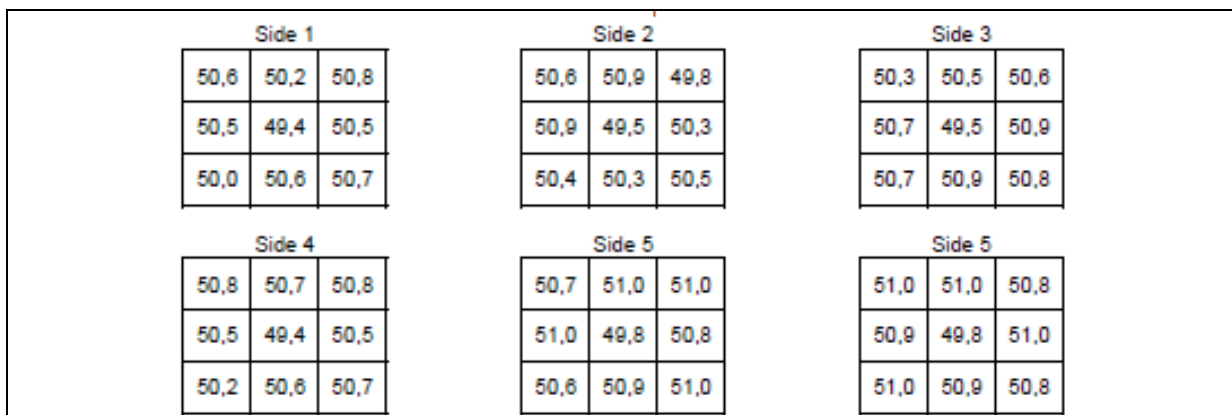


Figura 7 – Resultados de dureza Rockwell "C" depois do quarto revenimento

A Figura 8 apresenta detalhes das curvas do estágio de resfriamento – “temperatura versus tempo de resfriamento” – para os quatro termopares de contato colocados nas respectivas profundidades da seção transversal do bloco de aço.

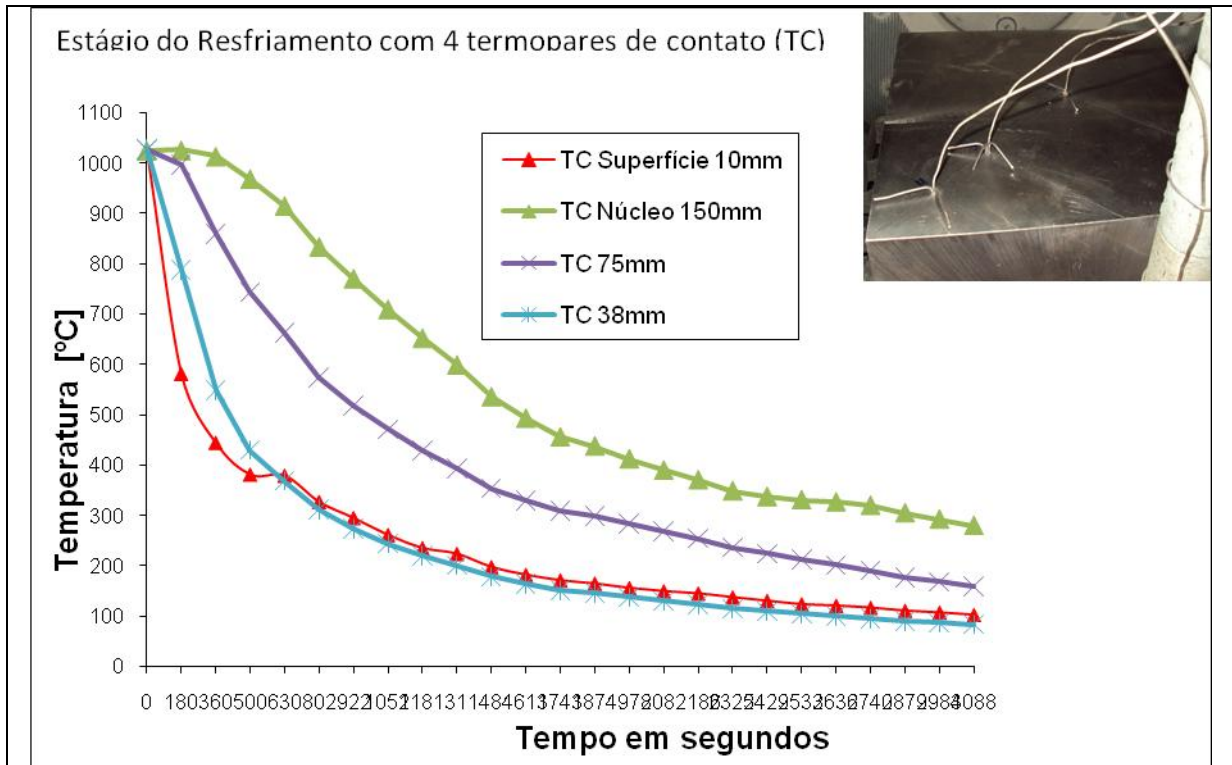


Figura 8 – Detalhe do estágio de resfriamento com 4 termopares de contato

As Tabelas 2 e 3 apresentam os resultados de ensaios de impacto realizados para os corpos de prova extraídos do pequeno bloco mostrado na Figura 4.

Tabela 2 – Resultados obtidos em Joules para entalhe em “U”

Corpo de Prova	Resultados em Joules [J]			
	14	8	10	Média
5,0 mm	14	8	10	<b>10</b>
50,0 mm	7	7	7	<b>7</b>
90,0 mm	6	8	8	<b>7</b>

Tabela 3 – Resultados obtidos em Joules para entalhe em “V”

Corpo de Prova	Resultados em Joules [J]			
	5,0 mm	10	10	8
50,0 mm	6	10	12	<b>9</b>
90,0 mm	8	10	8	<b>8</b>

#### 4. Discussão

As curvas de resfriamento mostradas pelos termopares quatro posições da seção transversal do bloco de aço de dimensões 300x300x300 mm, com resfriamento de gás nitrogênio sob pressão de 9 bar, mostraram que para a superfície a 10,0 mm e 38,0 mm de profundidade, respectivamente, tem a maior taxa de resfriamento [°C/seg]. Para esse tratamento térmico desenvolvido, observa-se na Figura 6 que o tempo decorrido para alcançar a temperatura de início de transformação austenítica, aproximadamente 300 °C, é de 820 segundos, ou seja, na faixa de temperatura de 1020 a 300 °C o resfriamento ocorreu a uma taxa de, aproximadamente, 55,3 °C/minuto. A norma NADCA sugere uma taxa mínima de 28 °C/min. na faixa de 1020 a 540 °C, sendo que para este caso estudado a taxa está bem acima desta recomendação. Para a faixa de 1020 a 540 °C, a taxa de resfriamento até a profundidade de 38,0 mm foi de 145 °C/minuto.

Com 13 minutos de resfriamento, aproximadamente, a temperatura à profundidade de 76,0 está em 580 °C, e a 150,0 mm em 820 °C. O núcleo do bloco de aço alcança a temperatura de início de transformação martensítica depois de 45 minutos de resfriamento.

A Figura 9 apresenta a curva de transformação em resfriamento contínuo para o aço AISI H13. Nessa curva é possível verificar que para o tempo total de 45 minutos de resfriamento uma mínima presença do microconstituente bainita será possível encontrar no núcleo desse bloco. Assim, para esse bloco é possível afirmar que a microestrutura será constituída majoritariamente de martensita até o núcleo.

Com relação aos ensaios de impacto, observa-se quase uma uniformidade de resultados para os corpos de prova ensaiados nos entalhe em “V” e “U” que



mereceria as considerações a seguir. O corpo de prova com entalhe em U possui raio de curvatura da ordem de 1 mm. O entalhe em V tem raio de curvatura padronizado como 0,25 mm. Quanto maior o raio de curvatura maior o volume submetido à sobrecarga (concentração de tensões), aumentando-se as chances de se perceber entalhes metalúrgicos advindos do processo (solidificação e deformação dos processos de conformação). Os raios de curvatura menores só conseguem solicitar volumes menores que eventualmente podem não ter tamanho suficiente para conter as variações citadas acima. Apesar de poucos ensaios, percebe-se que o entalhe em U demonstra uma queda um pouco mais acentuada de energia absorvida em relação aos corpos de prova com entalhe em V. Para uma melhor certificação do supraexposto seria interessante aumentar o número de corpos de prova para cada situação.

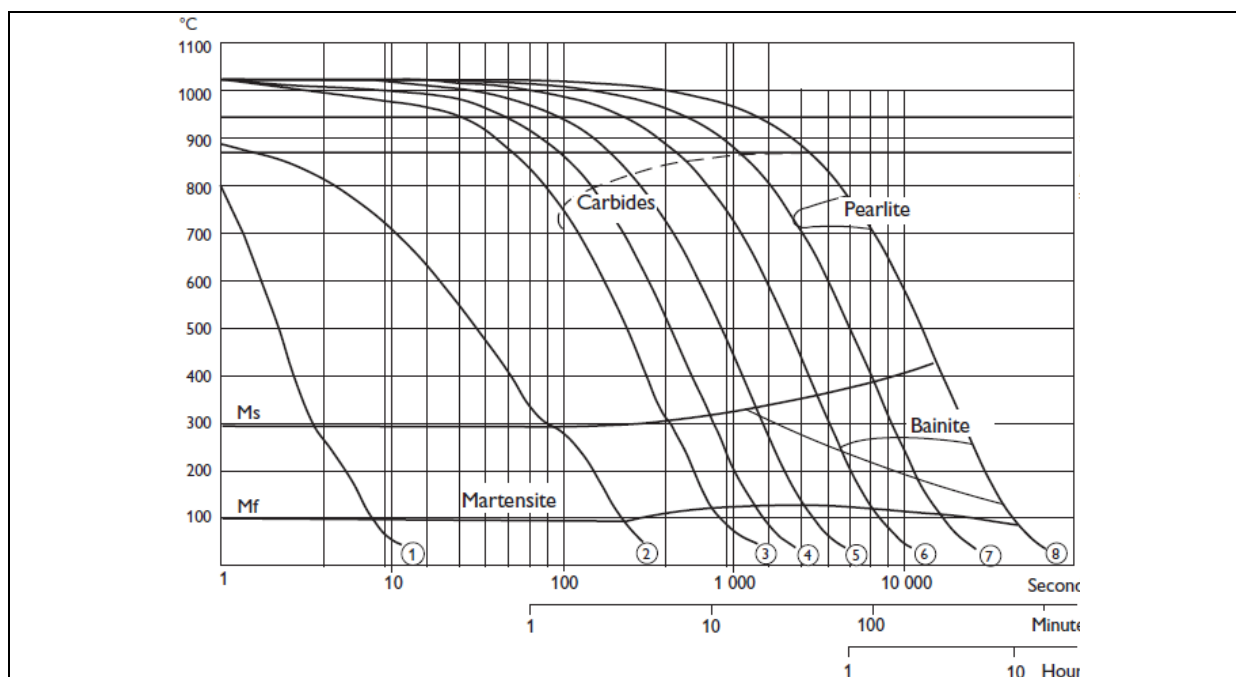


Figura 9 – curva de transformação em resfriamento contínuo do aço AISI H13

As Figuras 10, 11 e 12 mostram as microestruturas obtidas para o tratamento térmico de têmpera e quatro revenimentos. As microestruturas para as três profundidades inspecionadas apresentam martensita fina revenida e grãos austeníticos levemente marcados.

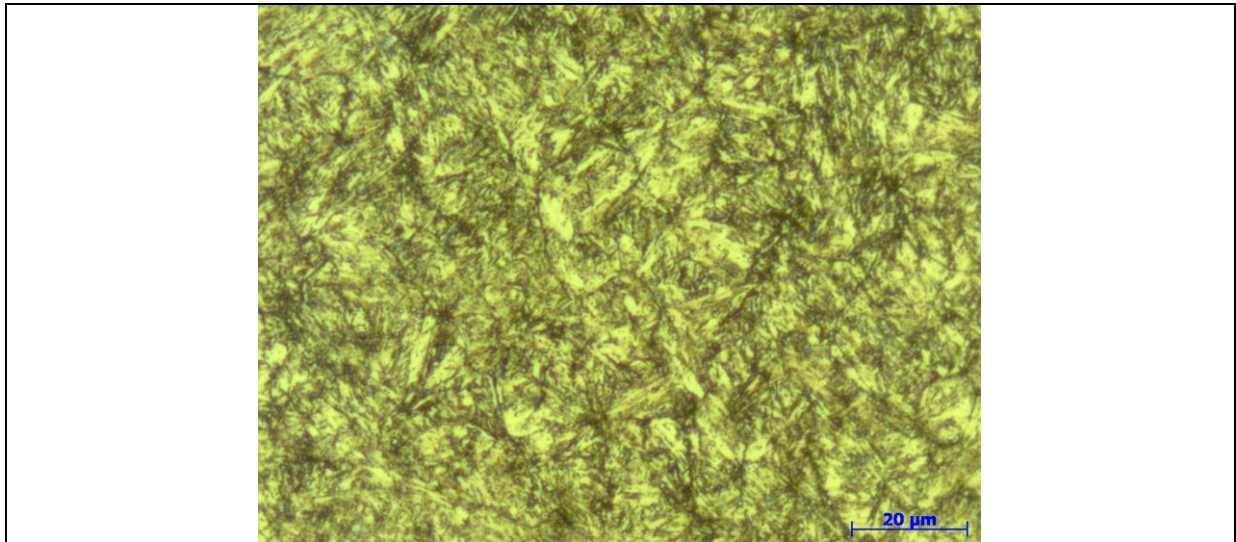


Figura 10 – Microestrutura à profundidade de 5,0 mm. Aumento 1000x. Nital 5%

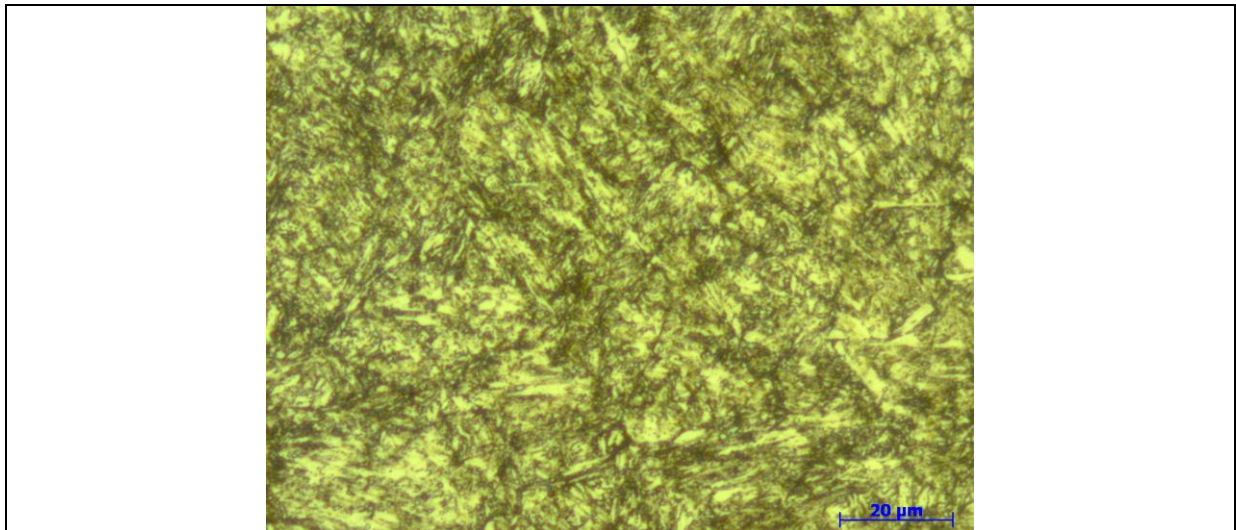


Figura 11 – Microestrutura à profundidade de 50,0 mm. Aumento 1000x. Nital 5%

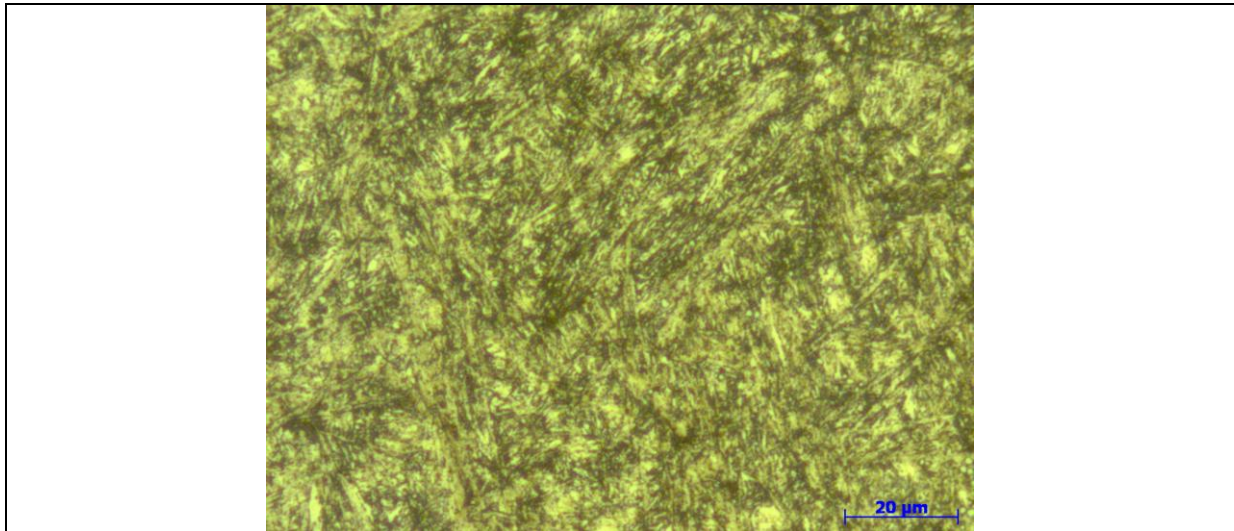


Figura 12 – Microestrutura à profundidade de 90,0 mm. Aumento 1000x. Nital 5%

## 5. Conclusão

O tratamento térmico conduzido para o bloco de dimensões 300x300x300 mm, aço AISI H13, mostrou durezas uniformes de 50,0 HRC para todas as faces, resultados de impacto em joules homogêneos e microestruturas de mínima diferenças às profundidades examinadas

\*\*\*\*\*

Referencias bibliográficas:

[1] Tool Steels – G.Roberts; G.Krauss; R.Kennedy

[2] Steels, Microstructure and Properties – RWK Honeycombe & HKD Bhadeshia

Agradecimentos:

- Sulzer Pumps – Prof.Dr. Marcelo Martins
- Microscópios Zeiss - Francisco