

## DESIGN E INOVAÇÃO: REDUÇÃO DO CICLO DE TRATAMENTO TÉRMICO DE NORMALIZAÇÃO EM TRAVESSAS FERROVIÁRIAS FUNDIDAS

### **Érik Leonel Luciano**

Aluno do Programa de Mestrado Profissional em Sistemas Produtivos - Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza – CEETEPS - Unidade de Pós-Graduação, Extensão e Pesquisa – São Paulo, SP -

### **Prof. Dr. Jorge Luiz Rosa**

Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza – CEETEPS, Brasil.  
Centro Universitário Teresa D`Ávila - UNIFATEA - Lorena, SP.  
Escola de Engenharia de Lorena, EEL - USP, Lorena, SP.

### **Prof. Dr. Rosinei Batista Ribeiro**

Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza – CEETEPS - Unidade de Pós-Graduação, Extensão e Pesquisa – São Paulo, SP.  
Centro Universitário Teresa D`Ávila - UNIFATEA - Lorena, SP.  
Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo – FATEC - Unidade de Cruzeiro, SP.

### **Vanessa Inês Grilo de Castro**

Mestre em Design Tecnologia e Inovação pelo programa de Pós Graduação do Centro Universitário Teresa D`Ávila - UNIFATEA - Lorena, SP.  
Especialista em Gestão Logística, pelo programa de Pós-Graduação da Unisal – Lorena, SP.

#### **Editor Geral**

Prof. Dr. Mário Pereira Roque Filho

#### **Organização e Gestão**

Prof. Ms. Clayton Pedro Capellari

#### **Correspondência**

Alameda Nothmann, nº 598 Campos Elíseos, CEP 01216-000 São Paulo – SP, Brasil.  
+55 (11) 3224.0889 ramal: 218  
E-mail: [f272dir@cps.sp.gov.br](mailto:f272dir@cps.sp.gov.br)

## Resumo

A necessidade do tratamento de normalização em fundidos de aço é amplamente utilizada para peças volumosas. O objetivo deste trabalho foi reduzir do ciclo de normalização em peças fundidas em aço carbono de baixa liga aplicada em travessas ferroviárias.

Este trabalho foi realizado em uma empresa do setor ferroviário e teve a finalidade de avaliar o ciclo de normalização adotado. Para tal, as peças foram instrumentadas com termopares nas regiões mais espessas das ligada. O sistema de aquisição de dados (temperatura x tempo) foi acionado no momento em que as temperaturas críticas de austinitização foi atingida. Como resultado obteve-se reduções de 42% no tempo normalização dos fundidos acompanhados, sem perda de qualidade diante da avaliação das propriedades mecânicas e microestruturais.

**Palavras-chave:** Travessas Ferroviárias. Tratamento Térmico. Normalização. Design. Inovação.

## Abstract

The need for standardizing treatment in steel castings is widely used for bulky parts. The objective of this work was to reduce the normalization cycle in low alloy carbon steel castings applied in railway sleepers. This work was carried out in a company in the railway sector and had the purpose of evaluating the adopted standardization cycle. For this purpose, the parts were instrumented with thermocouples in the thicker regions of the alloyed ones. The data acquisition system (temperature x time) was activated at the moment when the critical austinitization temperatures were reached. As a result, reductions of 42% were obtained in the normalization time of the monitored castings, without loss of quality due to the evaluation of mechanical and microstructural properties.

**Keywords:** Railway Sleepers. Heat treatment. Normalization. Design. Innovation.

## Introdução

Atualmente, as indústrias metalúrgicas têm enfrentado grandes desafios de forma a se manter competitivas frente aos concorrentes, sejam eles nacionais ou internacionais. A globalização que outrora colaborou para a expansão deste mercado, também passou a exigir estratégias que assegurassem processos mais robustos, com nível de qualidade superior a custos baixos. Tal visão exige que rotineiramente projetos sejam implantados buscando melhorias que garantam a produção, manutenção no mercado e mesmo o crescimento do negócio.

Este trabalho foi desenvolvido em parceria com uma das maiores metalúrgicas do Brasil, em que teve como finalidade a contribuição na melhoria do seu processo de normalização na fabricação de travessas ferroviárias fundidas em aço carbono. A normalização é um tratamento térmico onde a peça de aço, parte de uma temperatura acima da linha de austenitização ( geralmente acima de 900° C) e é resfriada lentamente, ao ar ou com jatos de ar. A finalidade deste tratamento é garantir uma microestrutura homogênea, com grãos regulares e a formação de perlita. A perlita atua positivamente na resistência ao choque, aumentando a tenacidade à fratura do aço. Como objetivo geral deste trabalho, foi o de desenvolver um método que reduzisse o tempo de ciclo do processo de normalização das travessas fundidas em aço carbono, de modo a garantir reduções no consumo do gás/ por peça e aumentar a capacidade e disponibilidade do forno. E especificamente, a de utilizar o conceito de Projeto de Produto (Design) e a inovação nas perspectivas de aumentar a capacidade do forno utilizado para o tratamento térmico de normalização de peças ferroviárias.

A metodologia constituiu-se de uma investigação bibliográfica e estudo de caso realizando uma avaliação do ciclo de normalização por meio da montagem de termopares nas regiões mais espessas das peças para avaliar o ciclo térmico necessário para o controle do processo, para diminuir os custos industriais e melhorar as propriedades mecânicas.

Como resultado final foi alcançada a redução dos custos relacionados ao gás natural utilizado para manutenção dos fornos em operação que representava 80% dos gastos da área. Além disso, o projeto trouxe ao negócio tanto ganhos na melhoria do processo como financeiros.

## **2 Fundamentação Teórica**

### **2.1 Projeto de Produto**

Dentro de uma empresa o setor de projetos desenvolve importante função que é a de oferecer ao cliente o produtos com de qualidade, baixo custo que dentro da função de destino. Esses fatores interferem de forma significativa no desenvolvimento do produto e corroboram para o bom andamento do projeto em todas as suas etapas, quanto maior a participação desses, maiores chances o desenvolvimento terá em obter êxito.

O foco desta área se divide em desenvolvimento de novos produtos e na inovação dos já existentes, segundo Baxter:

A inovação é um ingrediente vital para o sucesso dos negócios. A economia de livre mercado depende de empresas competindo entre si, para superar marcas estabelecidas por outras empresas. As empresas precisam introduzir continuamente novos produtos, para impedir que empresas mais agressivas acabem abocanhando parte de seu mercado (BAXTER, 2008, p. 1).

### **2.2 Metaprojeto**

O termo Metaprojeto é definido como:

A literatura apresenta diferentes interpretações para a abordagem desse tema, decorrentes dos sentidos atribuídos ao termo design. A agregação do prefixo meta, traduzido pelas preposições além, entre, com, depois, entre outras, justapõe a esse termo o sentido de mudança, transformação, sucessão, transcendência ou reflexão, o que traz uma ordem complementar de polissemia, ainda maior aos termos em questão (BENTZ E FRANZATO, 2016, p. 2).

O termo foi desenvolvido e ampliado por Van Onck (1965), que em sua visão descrevia o metaprojeto como um processo de natureza projetual, considerando com isso o próprio design como matéria de projeto.

### **2.3 Tratamento Térmico**

A maior parte dos aços carbonos fundidos, alta e baixa liga, produzidos atualmente são tratados termicamente antes de serem colocados em serviço, buscando-se uma melhora das propriedades mecânicas particulares (BELCHIOR, 2015). O tipo de tratamento é escolhido em função do tipo da liga, bem como das condições de serviço a que o produto será submetido.

Os procedimentos convencionais de tratamento térmico para produção de aços martensíticos envolvem normalmente o resfriamento rápido e contínuo de uma amostra austenitizada em algum tipo de meio de resfriamento rápido (têmpera), tal como a água, o óleo ou o ar (CALLISTER, 2013, p. 285).

É válido ressaltar que 3 fatores são decisivos no processo de tratamento térmico dos aços: Composição da liga, tipo e meio do resfriamento e tamanho e forma da amostra.

Sobre a composição da liga, ao comportamento que possui de se transformar em martensita, por meio de um tratamento de têmpera específico, está ligada a um parâmetro conhecido como enrijecimento. Segundo Callister (2013, p. 286): “Se trata da habilidade de uma liga em ser endurecida pela formação de martensita como resultado de um dado tratamento térmico”, não podendo ser confundida com dureza, que se trata de resistência à endentação.

Para tratamento das ligas ferrosas são utilizados dois tipos de tratamentos, os isotérmicos, de austêmpera e têmpera, e os de resfriamento contínuo. De acordo com Milan e Colaboradores (2014, p. 67) são: “Têmpera; revenimento ou alívio de tensões; homogeneização; recozimento; recozimento subcrítico; esferoidização e normalização”. Estas duas classes de tratamentos térmicos são diferenciadas pelo modo de resfriamento, em que nos tratamentos isotérmicos são percebidos um ou mais patamares de temperatura, enquanto no contínuo o resfriamento se dá de forma ininterrupta, sem mudanças marcantes na taxa de resfriamento.

O teor de carbono e o tipo de tratamento térmico a ser adotado, definirão qual será a temperatura inicial de aquecimento, para isso podem-se utilizar vários tipos de fornos, por indução, a arco elétrico, por resistência elétrica, etc.

## **2.4 Normalização**

O processo de Normalização, de acordo com a norma AAR–Associação Americana de

ferrovias–M201- *Manual of Standards and Recommended Practices*, que inclui todas as normas, especificações e práticas em seu item 5.2, descreve que o tratamento térmico, chamado de normalização, consiste em aquecer uniformemente o fundido a uma temperatura acima da faixa de transformação e manter durante o tempo adequado para a completa austenitização e refino dos grãos, seguido de resfriamento ao ar até a temperatura abaixo de 371 °C.

Segundo Milan e Colaboradores:

A normalização produz uma estrutura quimicamente mais homogênea e de grãos austeníticos mais refinados do que o recozimento, resultando em uma estrutura de perlita fina e, no caso dos aços hipereutetóides, também em uma distribuição mais uniforme de carbonetos esferoidizados. O aço normalizado apresenta maior resistência mecânica e menor ductilidade do que o recozido e menores níveis de tensão interna do que o aço temperado e revenido (MILAN e COLABORADORES, 2014, p. 62).

No caso dos aços hipoeutetóides, considera-se que a temperatura de aquecimento ultrapasse a linha A3, este processo objetiva refinar a granulometria das peças fundidas, sendo também adotada com procedimento anterior à têmpera e o revenido, para obtenção de uma estrutura mais uniforme e homogênea.

Após o processo de normalização, o aço apresenta uma maior resistência mecânica e, se comparado a outros processos como o recozimento, se torna menos dúctil e se comparado ao aço temperado e revenido se mostra com menores níveis de tensão interna.

Após o aquecimento, no processo de normalização, a peça deverá ser resfriada de forma lenta, ao ar livre (CHIAVERINI, 2005), de modo a eliminar a estrutura dendrítica e possíveis tensões resultantes das diferentes velocidades de resfriamento de cada seção do fundido (SILVA, 2011).

No processo de pós-normalização os fundidos devem ser colocados em bandejas permitindo a livre circulação do ar ao redor de cada peça, enquanto ocorre o resfriamento (BELCHIOR, 2015). Como resultado da normalização obtém-se uma mistura de ferrita e perlita, com baixa incidência de tensões residuais, nenhuma distorção, sendo utilizado em atendimento às várias especificações determinadas para

fundidos.

Os fornos para normalização de aços em geral obtêm sua fonte de aquecimento da energia elétrica, óleo ou gás, em grandes indústrias em geral, são alimentados a gás, com grandes dimensões, contruído com chapas de aço-carbono, com diferentes espessuras, cujo isolamento pode ser feito com material refratário cerâmico ou lã de rocha, evitando a perda e assegurando que o forno mantenha o calor em seu interior.

Na parte externa possuem um carro de transferência que carrega e descarrega o forno, os materiais a serem normalizados são colocados em grandes grades permitindo que seu carregamento seja realizado por pontes rolantes facilitando a manipulação e disposição da melhor forma de modo a garantir a otimização do espaço interno do forno.

## **2.5 Encharque e Têmpera dos aços carbono**

O encharque se refere ao tempo em que o material é mantido em um patamar de temperatura, após o aquecimento do aço até o campo austenítico, e na sequência resfriado ao ar de forma calma ou levemente agitada.

No tratamento de têmpera objetiva-se a obtenção de maiores resistências e durezas. Para isso a peça fundida é austenitizada acima da temperatura crítica superior e em seguida resfriada rapidamente evitando a formação da perlita e ferrita (BELCHIOR, 2015).

O processo de resfriamento varia de acordo com a composição química e a espessura da peça. Segundo Cunha (2012, p. 11), a temperabilidade da peça se refere “A capacidade de um aço para ser transformado parcialmente ou completamente a partir da austenita para martensita a uma dada profundidade quando resfriado sob condições prescritas”, são utilizados como meio de têmpera: óleo, soluções de salmoura, soluções de água e polímero.

Comumente o resfriamento à base de óleo é utilizado nos aços alto carbono enquanto se quer evitar a formação de trincas, devido à velocidade de resfriamento do óleo ser inferior à da água. No caso do resfriamento a óleo obtém-se uma perlita fina com dureza elevada, maior do que a resfriada em água.

O processo de resfriamento ocorre de forma controlada, permitindo o controle da transformação da austenita, para a martensita. A dureza máxima obtida em um aço temperado, é controlada pela concentração de carbono com um resfriamento a uma

taxa maior ou igual do que a taxa de resfriamento crítica para a liga (BELCHIOR, 2015).

No que tange os processos de tratamento térmico, há ainda o revenido, que se trata do processo de um aço já endurecido “Até uma temperatura crítica inferior, de modo a conseguir algum amolecimento, e em seguida resfriá-lo até à temperatura ambiente” (BELCHIOR, 2015, p. 53), o objetivo deste processo é a redução da dureza e alívio de algumas tensões, é possível a obtenção de uma maior ductilidade, diferente das peças somente normalizadas.

Este tratamento ocorre na faixa de 175 °C a 700 °C e foi verificado que em alguns aços há a redução da tenacidade comprovada por meio de ensaios de impacto, isto em processos de revenimento ocorridos em temperaturas entre 200 °C e 400 °C. Tal fragilização é conhecida como “fragilidade da martensita revenida”. Esta fragilização pode ser evitada aplicando o revenimento acima de 575 °C e/ou controle da composição química.

### **3. Metodologia**

#### **3.1 Contexto e a Realidade Investigada**

O estudo foi realizado em lócus numa empresa multinacional, instalada na Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte – RMVPLN, São Paulo. A empresa emprega atualmente cerca de 1.100 funcionários, sendo fornecedora de fundidos e rodas para as principais montadoras de veículos de carga instaladas no Brasil e no Mundo, desenvolve equipamentos ferroviários e industriais, estando presente no mercado de fundidos há mais de 70 anos com a manufatura de fundidos ferroviários, rodas ferroviárias até fundidos para o mercado industrial, com peças pesando de 17 a 3.000 kg.

#### **3.2 Desenvolvimento do Projeto**

A travessa central do projeto é fabricada em aço fundido, do tipo B+ grau 4, aço carbono de baixa liga comparado com o aço SAE 1030 com diferencial de possuir adição de Cromo durante a fusão para aumentar a formação de carboneto para aumento da dureza. Este grau B+, segundo a AAR M-201 deve passar pelo processo de normalização e a composição deste aço, Figura 1.



Figura 1 - Composição química aço fundido, do tipo B+ grau 4 de baixa liga com similaridade ao aço SAE 1030 com diferencial em Cr.

TIPOS	COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS AÇOS CARBONO (%)															
AÇO	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni	B	Ti	Zr	Cu	V	Nb	Al	Reversão Mn
B+	0,24 0,32	0,65 0,90	0,30 0,60	0,035 máx	0,025 máx	0,60 0,85	0,10 máx	0,35 máx	0,001 máx	-	-	0,50 máx	-	-	0,030 0,080	(1) 0,20 máx.

Fonte: Os Autores (2020).

A norma AAR / M-201 para o aço B+, a cada redução de 0,01% de carbono abaixo do máximo especificado, é permitido um aumento de 0,04% de manganês acima do máximo especificado, conforme Figura 02. Sendo limitado a um máximo de 1,2% de manganês. No caso do B+ a presença do Manganês é importante a fim de conferir ao aço um aumento do limite de escoamento e resistência à deformação plástica sob choques repetidos. Nos aços-manganês o enxofre também está presente, mas seu teor não é crítico devido à presença do manganês, o fósforo é acrescido com um teor máximo de 0,035% para manutenção da soldabilidade do aço, outros elementos como molibdênio, níquel, cobre, etc. Estes elementos estão presentes garantindo características como usinabilidade e aumento do limite de escoamento. Costuma-se adicionar também o cromo até 2%, pois este elemento aumenta o limite de escoamento, mas reduz a ductilidade.

Figura 2 - Processo de fabricação da travessa ferroviária.



Fonte: Os autores (2020).

Foram realizados no laboratório da referida empresa as análises metalográficas com a finalidade de preparar a superfície com o embutimento a quente, lixamento com lixas d'água # 220, 320, 400, 600, 1000 e o polimento mecânico com a solição de sílica coloidal impregnados em feltro para a injeção de riscos e artefatos. Na revelação microestrutural foi feita em campo claro via microscopia óptica e a solução química em NITAL, durante 10 segundos. O ensaio mecânico foi feita com assistência digital e devidamente aferida, ASTM A370.

### **3.3 Processo de fabricação da Travessa**

O processo de fabricação da travessa inicia-se na moldagem, feita em areia com luvas exotérmicas, canais refratários e areia preparada com óxido de ferro, resinas e catalisador. Em seguida a moldagem o aço é vazado, e as peças são fabricadas individualmente, uma peça por caixa. Após algumas horas depois do vazamento o molde é desmoldado, os canais e massalotes são cortados e enviados ao grafite para grafitagem e decapagem.

Após esse processo de preparação as peças são dispostas na grade com o auxílio da ponte rolante e são formadas cargas com 27 travessas de forma a otimizar o processo de normalização.

## **4. Resultados e Discussão**

### **4.1 Aplicação do Produto**

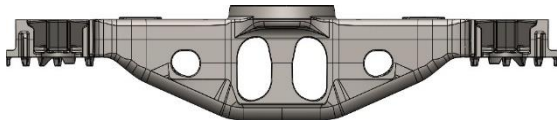
A travessa ferroviária faz parte do conjunto de rodagem do vagão, formado pelo conjunto conhecido como aranha, travessa, laterais e suspensão, que junto com os eixos e rodas compõe o rodeiro. A responsabilidade dos truques é a transferência de carga imposta pelo vagão aos trilhos e pela movimentação dos vagões ao longo da linha. O veículo ferroviário, também conhecido como trem é formado pela caixa (corpo do veículo) e dois truques, um dianteiro e outro traseiro.

O conjunto conhecido como "H" é formado por uma travessa central e duas laterais e servem de base para os demais componentes do subsistema que junto com o prato

pião responsável por ligar o truque à caixa do vagão, unem-se aos ampara balanços responsáveis por manter o equilíbrio do vagão sobre o truque.

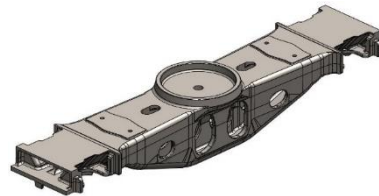
Pesando 749 kg e com as seguintes dimensões: largura: 514 mm, altura: 464 mm e comprimento: 2519 mm, nas Figuras 3a, 3b em 3D desenvolvidos em em Solid Works® e observa-se a travessa central sob vários ângulos.

Figura 3a - Vista lateral da travessa ferroviária



Fonte: Os autores (2020).

Figura 3b - Vista lateral/superior da travessa ferroviária.



Fonte: Os autores (2020).

## 4.2 Processo de normalização anterior

A carga de travessas é puxada para dentro do forno com o auxílio de um carro de cargas, a temperatura de entrada das peças é a ambiente, mas o forno é mantido ligado à uma temperatura de 400 °C. Inicia-se o processo de normalização e a cada hora eleva-se a temperatura e assim sucessivamente e ao final da rampa de 7 horas atinge-se a temperatura de 910 °C e neste patamar é mantida por mais 110 minutos de modo a garantir a homogeneização da temperatura da peça por completo, esta rampa corresponde a 200 °C por hora.

Após este período as peças são puxadas para que uma nova carga seja abastecida. As peças são mantidas ao ar livre em que permanecem até o resfriamento total, para então, passarem para o processo de decapagem de modo que na sequência a peça segue para o acabamento e por fim à usinagem.

Como esperado, durante o resfriamento a microestrutura da peça passa da fase austenita para uma microestrutura composta por perlita e ferrita. Além de favorecer a tenacidade a fratura, a normalização aumenta a usinabilidade do aço ao carbono.

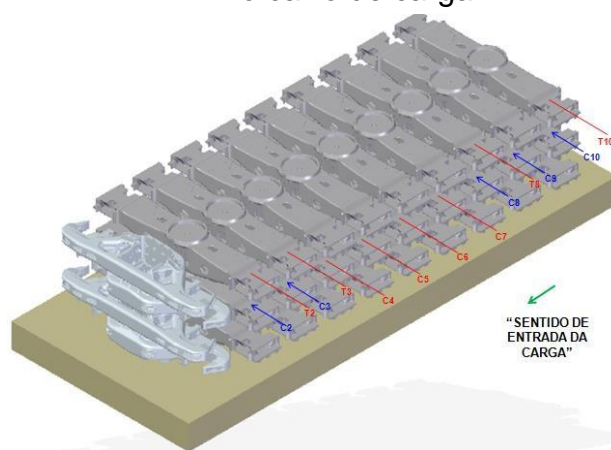
Este procedimento é executado e obedece a Norma AAR M201-*Manual of Standards and Recommended Practices Casting Details*, sobre o processo de Normalização para aços fundidos:

Aqueça à temperatura uniformemente acima da faixa de transformação da austenita e mantenha pelo tempo adequado para alcançar a

austenitização completa e refinar a estrutura de grãos. Retire do forno e deixe esfriar a temperatura ambiente ou no processo de resfriamento forçado até que a temperatura fique abaixo de 700 °. O ar forçado controlado deve ser claramente definido usando um processo descrito, incluindo os controles de tempo e taxa de resfriamento conforme necessário para produzir propriedades no material de acordo com esta especificação. O critério do fabricante, as partes B e B+ especificadas como padrão podem receber um revenimento subsequente (AAR, 2007, part. II).

Neste processo o único tratamento térmico que as travessas sofrem é a normalização por se tratar de um aço hipoeutetóide.

Figura 5 - Esquema de instalação dos termopares e posicionamento das travessas no carro de carga.



Fonte: Os autores (2020).

Neste projeto optou-se pela redução do tempo de encharque de normalização em um forno F5001, utilizado na empresa para a normalização das peças. Na análise do comportamento da temperatura durante o tratamento térmico, foram instalados termopares em 8 peças do total da carga ( ver figura 5), para determinar o tempo exato que temperatura de austenitização era atingida. Para o mapeamento térmico, o volume interno foi dividido em 10 zonas no sentido horizontal e três zonas no sentido vertical exemplificados pelas setas azuis e vermelho na imagem.

Considerou-se que as temperaturas são homogêneas no sentido transversal da prancha. O posicionamento das travessas na prancha para entrada no forno de

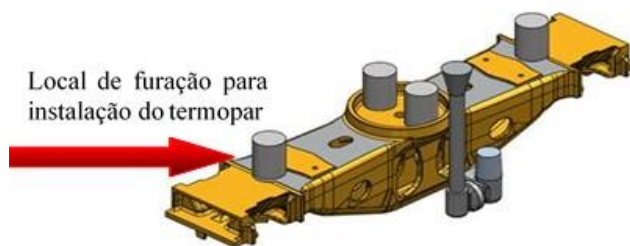
normalização com o carro de transferência e a capacidade para tratamento de 20 mil kilos por corrida. Os termopares foram inseridos nas travessas em furos realizado nos massalotes de alimentação da peça, pontos onde localiza-se maior espessura da peça. A maioria dos metais sofre contração durante o processo de solidificação, por este motivo os massalotes, última parte do molde a se solidificar é o responsável por concentrar a contração de solidificação e são posteriormente arrancados da peça.

#### Segundo Nascimento:

Etapa mais crítica de todo o processo, já que um resfriamento excessivamente rápido pode provocar tensões mecânicas na peça, inclusive com aparecimento de trincas, e a formação de bolhas. Se houver um resfriamento muito lento ocorrerá à diminuição da produtividade. Estes eventos influenciam bastante o tamanho, uniformidade e composição química dos grãos formando na peça fundida, que por sua vez influenciam as suas propriedades globais (NASCIMENTO, 2009, p.12).

Para o processo de resfriamento da peça após o vazamento os massalotes desenvolvem papel essencial pois é neles também que se concentram os possíveis rechupes, defeitos internos do tipo cavidades e é também em que ficam retidas muitas impurezas do metal. A travessa estudada possui 4 massalotes e um canal de alimentação, Figura 6.

Figura 6 - Travessa com os massalotes e canal de alimentação. A flecha indica local de instalação dos termopares.



Fonte: Os autores (2020)

Para instalação dos termopares foi feita uma furação em um dos lados da peça, medindo 157 x 75 x Ø 5 mm e após para a fixação dos termopares no furo, no massalote foi utilizada massa refratária, figura 7.

Figura 7 - Local de instalação dos termopares para a realização da medidas da temperatura de tratamento térmico nas travessas.



Fonte: Os autores (2020).

Após furação o termopar foi colocado e o acabamento foi finalizado com massa refratária. Para realização do levantamento do ciclo térmico foram utilizados um registrador de dados e 8 termopares minerais tipo “K” medindo 15 metros de comprimento cada. Os termopares foram colocados na entrada do registrador, nos canais de 1 a 6 para leitura da real temperatura que as peças se encontravam dentro do forno. O processo consiste na introdução dos termopares juntos às peças, sendo um termopar em cada extremidade e um termopar no centro da prancha durante 11 horas de trabalho, Figura 8 (a) e (b).

Figura 8 – Posicionamento dos termopares – (a) Lado esquerdo e (b) Lado direito.



Fonte: Os autores (2020).

O processo é realizada da seguinte maneira: (a) lado esquerda da prancha e (b) direito da prancha, prescreve que as travessas montadas com os termopares para o início da medição permanecem sobre a rampa de abastecimento do forno em várias



fases, de modo a assegurar que o processo possa ser validado em qualquer uma delas, mantendo-se desta forma a qualidade e a exatidão dos resultados (temperatura). Para cada carga montada foi feito um esquema com a posição de cada termopar para facilitar a análise e verificar se em todas as posições as temperaturas necessárias eram obtidas, bem como avaliar se a posição das peças interferiria na qualidade das propriedades das travessas, Figura 09.

Figura 09 - Posicionamento de diferentes cargas no forno de normalização.

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
CARGA "1"	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	"B"
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	Case D8 + idler
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
CARGA "2"	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
	T1	T2 Bolster	T3 Bolster	T4	T5	T6	T7	T8 Bolster	T9	T10 Bolster
CARGA "3"	C1	C2 OK!	C3 OK!	C4 Bolster	C5 Bolster	C6 Bolster	C7 Bolster	C8 OK!	C9 OK!	C10 OK!
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
	T1	T2 Bolster	T3 Bolster	T4	T5	T6	T7	T8 Bolster	T9	T10 Bolster

Fonte: Os autores (2020).

Neste levantamento térmico, foram consumidos 1086 metros cúbicos de gás natural e após a finalização do levantamento térmico foram obtidos os seguintes dados: Temperatura Especificada: 910 °C ± 45 °C (855 °C – 945 °C); Máxima temperatura atingida no início do Patamar 949 °C (na saída N°2, Azul); Menor temperatura atingida no início do Patamar 883 °C (na saída N°6, Marrom); Delta de homogeneização entre pontos, 66 °C; Delta de homogeneização entre registrador e a temperatura do forno de instrumentação, 62 °C; Máxima temperatura atingida no final do Patamar 940 °C (na saída N°2, Azul); Menor temperatura atingida no final do Patamar 858 °C (na saída N° 6, Marrom); Delta de homogeneização entre pontos, 82 °C; Delta de homogeneização entre registrador e a temperatura do forno de instrumentação, 31 °C.

Observou-se que a temperatura de austenitização ocorreu em torno de 724 graus (início da transformação austenítica) e o final da transformação ocorreu após 52 minutos de patamar.

O levantamento térmico seguiu as normas internas de execução e em função dos valores de temperatura encontrados e em relação aos limites estabelecidos (o tempo

de patamar foi obtido) e o levantamento térmico foi aprovado. Na análise das temperaturas dos termopares foi extraído relatório do forno, para verificação do volume de gás consumido durante todo o processo de normalização, com isso verificou-se que as temperaturas mínimas e máximas foram atingidas, bem como a temperatura média das zonas não demonstrou consideráveis oscilações. Após realização do mapeamento o projeto foi dividido em 3 fases, para implementação gradual da “Redução do ciclo de normalização”: Etapa 1 — Na primeira carga 1 peça bruta de fundição na “pior posição” avaliada, que seria perto da porta conforme Figura 09, seria a avaliada tendo seus CDP’s retirados da região crítica. Após aprovação desta carga, durante 15 dias de produção, uma carga por dia seria normalizada sob essa mesma condição de tempo, utilizando-se de uma peça bruta, antes do acabamento, podendo ser utilizadas peças sucata no decorrer do processo. Etapa 2 — Mais 15 dias de produção e neste período duas cargas por dia seriam submetidas ao mesmo procedimento. Etapa 3 — Após aprovação da etapa 2, passaríamos na etapa 3 a produzir todas as cargas de travessas neste mesmo procedimento de tempo de encharque reduzidos.

Figura 11 - Vista frontal (a) e diagonal (b) do corpo de prova para ensaios de tração (CDP) no interior da travessa.



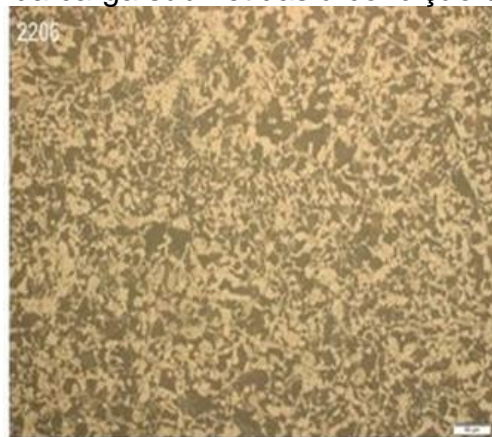
Fonte: Os autores (2020).

As Figuras 11 (a) e (b) revelam os locais exatos de onde os CDP's foram extraídos para os ensaios mecânicos: de tração e análise microestrutural.

Durante o experimento uma das cargas além de ser submetida a uma redução do tempo de ciclo, sofreu também acidentalmente uma redução da temperatura e mesmo com esse incidente após realização das análises as peças mantiveram suas propriedades especificadas e foram aprovadas nos testes de validação, ou seja, apresentou a mesma estrutura perlítica proveniente do tratamento ideal, Figura 12.



Figura 12 - Micrografia com fases da perlítica (escura)/ferrítica (clara) de uma das peças da carga submetidas à condição extrema.



Fonte: Os autores (2020).

Envidenciou-se que ocorreu a formação (início) da perlita a partir de 5 minutos e a transformação final em 30 minutos e acima de A3 inicia-se a nucleação de novos grãos e a homogeneização dos grãos de solidificação, o aço da travessa analisada e estudada neste processo equivale a um aço SAE 1035 com os microconstituintes perlita-ferrita. Para o ensaio de tração foi retirada da travessa no ponto de maior espessura próximo ao massalote a parte que seria utilizada para confecção do corpo de prova, tendo como referência as normas ASTM A 370 e ASTM E8, Figuras 13 (a) e (b).

Figura 13 – (a) Preparação do ensaio mecânico de tração e (b) visualização do corpo de prova para o ensaio mecânico de tração.



(a)



(b)

Fonte: Os autores (2020).

Os ensaios mecânicos até agora realizados tiveram resultados aprovados, tanto no tratamento convencional quanto no tratamento com tempo e temperatura reduzidos (para corpos de prova retirados de fundidos).

Figura 14 - Resultados do teste de tração da travessa em relação ao posicionamento da matriz, tamanho de grão ASTM, propriedade mecânica (lote e série #6959 – padrão empresa).

Série	Posição Matriz	Tamanho Grão	Limite de Resistência (MPa)	Limite de escoamento (MPa)	Alongamento (%)	Redução de Área (%)	Dureza HB
6959	Bruta s/ Temp.	4 a 5	639,91	354,86	26,76	38,30	139
			628,02	357,16	28,24	36,33	138

Fonte: Os autores (2020).

Por meio das medidas da carga observadas em relação à deformação, constatou-se o limite elástico apontado nos dois corpos de prova, atenderam aos exigidos pela norma, bem como o limite de Resistência à tração. O material apresentou comportamento dúctil, com valores elevados de escoamento, bem como atingiu os níveis que garantiram sua tenacidade, Figura 14.

## 6. Considerações Finais

No mercado atual ferroviário marcado por uma forte concorrência e imposição na redução de custos a empresa e a universidade apostaram na articulação com a engenharia, gestão e o design de produto de travessas ferroviárias com a validação de projetos e suas formas, funcionalidade e geometria. Percebeu-se no artigo a contribuição para o desenvolvimento tecnológico e a extensão inovadora para a colaboração de forma quantitativa nos índices de melhoria do processo de produção da travessa estudada na empresa. Conforme apontado nos resultados o projeto trouxe ao negócio tanto ganhos na melhoria do processo como financeiros. Notou-se com o objetivo do trabalho foi respondido, já que o modelo de inovação apresentado (custos industriais, processos, projeto, suas propriedades e design), garantiu ao produto uma redução significativa tanto nos custos quanto no tempo de ciclo de normalização. Em termos financeiros representou 10% de redução ao valor despendido com consumo de gás no processo de normalização. Com relação às propriedades mecânicas e de microestrutura (Perlita e Ferrita), tamanho de grão ASTM 4 a 5, alongamento nas faixas de 26,76 mm – 28,24 mm e redução de área (%) 38,30 – 38, 33 que foram

comprovadas após análise dos materiais que se mantiveram e não perderam nenhuma das características determinadas pelas normas e procedimentos vigentes em níveis nacional e internacional.

## Referências

AAR, Chapter XI section C part II, Washington, D.C, EUA, 2007.

BAXTER, M. Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos. 2.ed. rev. São Paulo: Edgard Blücher, 2008.

BENTZ, I., FRANZATO, C. O Metaprojeto nos Níveis do Design. Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design. Blucher Design Proceedings. Outubro, 2016, n. 2. vol. 9. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/designproceedings/ped2016/0120.pdf>. Acesso em: 09 set. 2021.

BELCHIOR, Carlos Marcelo. Desenvolvimento de Aço Baixa Liga para Componentes do Sistema de Choque e Tração em Vagões Ferroviários. Escola de engenharia de Lorena. Mestrado em Ciências. Lorena, 2015.

CALLISTER, Jr., W.D. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução 8ª edição. LTC Editora, 2013.

CARNIN, R.L.P. Reaproveitamento do Resíduo de Areia Verde de Fundição como agregado de misturas asfálticas. Dissertação de Doutorado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

COLPAERT, H. Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns. 3 ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2008.

CUNHA, João Paulo. Estudo do Efeito da Eliminação da Normalização das propriedades Mecânicas do Aço AAR M201 Grau E. Centro de Estudos e Pesquisas Ferroviárias. Cruzeiro, 2012.

CHIAVERINI, V., Tratamento Térmicos das Ligas Ferrosas. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2005.

MILAN, Marcelo Tadeu; MALUF, Omar; SPINELLI, Dirceu; FILHO, Waldek Wladimir Bose. Metais uma visão objetiva. São Carlos: MIB, 2014.

MORO, N.; AURAS, A. P. Conformação mecânica II: extrusão, trefilação e conformação de chapas. Disponível em:< [http://www.demat.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/25/2007/06/TCCII\\_2%C2%BA\\_2013\\_RamilledeCastro\\_Profa.E laine.pdf](http://www.demat.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/25/2007/06/TCCII_2%C2%BA_2013_RamilledeCastro_Profa.E laine.pdf)> Acesso em: 14 mar. 2019.

NASCIMENTO, Fábio Renato Rossi. Processos produtivos I: Fundição. São Carlos, 2009.

ROHDE, R. A. Metalografia Preparação de Amostras. Uma abordagem prática Versão-3.0, 2010. Disponível em <[www.urisan.tche.br/~lemm](http://www.urisan.tche.br/~lemm)>. Acesso em 10 fev. 2017.

SILVA, José Nazareno Santos. Siderurgia – Belém : IFPA : Santa Maria : UFSM, 2011.

SILVA, A. C.; AVANZI, C. Mecânica: Tecnologia dos Materiais e Industrial. São Paulo: Fundação Padre Anchieta, 2011. (Coleção Técnica Interativa. Série Mecânica, v. 2).

SCHEUNEMANN, R. Regeneração de areia de fundição por meio de tratamento químico via processo fenton. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

SCHADE C.; STEARS, P.D.; LAWLEY, A.; DOHERTY, R.D. Precipitation hardening p/m stainless steels. International Journal of Powder Metallurgy, v. 43, n. 4, p. 51-59, 2012.

VAN ONCK, A. Metaprojeto. Produto e linguagem. v. 1, n. 2, 1965, pp. 27-31.