

# ANÁLISE DE FUNCIONABILIDADE DO PROGRAMA DE TEMPERABILIDADE JOMINY UTILIZANDO AÇO 4340

T.S.R. Santos<sup>1,\*</sup>; A.B.R.M. Abrahão<sup>1</sup>; C.A.S. Leandro<sup>1</sup>, F.F. Silva<sup>1</sup>, L.N. Baptista<sup>1</sup>

1 Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba  
Rodovia Vereador Abel Fabricio Dias, 4010 – Água Preta, Pindamonhangaba/SP,  
CEP.: 12445-010, Brasil.  
Telefone: (12) 3648-8756

\* [tuane.santos2@fatec.sp.gov.br](mailto:tuane.santos2@fatec.sp.gov.br)

**RESUMO:** O Ensaio Jominy na área de Metalurgia é realizado com a finalidade de avaliar a temperabilidade de aços, e é realizado conforme a norma ASTM A255. O trabalho teve por objetivo, a criação de um programa, que a partir da porcentagem de liga contida nas amostras de materiais ferrosos, realiza os cálculos de acordo com a norma e constrói o gráfico da Curva Jominy, dos corpos de prova que serão submetidos ao ensaio. Adicionalmente este programa possibilita com os resultados finais obtidos a comparação entre os dados teóricos e práticos do ensaio. O programa foi construído utilizando o framework Visual Basic 2008 Express, e foram realizados ensaios de têmpera no dispositivo Jominy Sustentável com o aço 4340, que comprovaram a eficácia do mesmo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Programa, Jominy, têmpera, aço.

**ABSTRACT:** The Jominy Test in the Metallurgy area is carried out with the purpose of evaluating the hardnability of steels, and is performed according to ASTM A255. The objective of this work was to create a software that, based on the percentage of alloy contained in samples of ferrous materials, performs the calculations according to the norm and constructs the graph of the Jominy Curve, of the specimens that will be submitted to the test. In addition, this software allows the comparison between the theoretical and practical data of the test with the final results. The software was built using the Visual Basic 2008 Express program, and tempering tests were performed on the Jominy Sustainable device with the 4340 steel, which proved its effectiveness.

**KEYWORDS:** Software, Jominy, temper, steel.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente o ramo de materiais metálicos empregados na indústria em geral possui uma vasta variedade de ligas, com aplicações específicas, o que impõe a necessidade de conhecer suas propriedades mecânicas, para a correta aplicação desses materiais. Uma destas propriedades é a temperabilidade, que pode ser avaliada através do Ensaio Jominy, atualmente regularizado pela *American Society for Testing and Materials* a ASTM.

A temperabilidade, é a propriedade que avalia a capacidade de um material de ser endurecido quando é exposto ao calor e, depois, ser resfriado rapidamente, este conjunto de ações é denominado Têmpera. Para cada liga de aço diferente existe uma relação específica entre as propriedades mecânicas e a taxa de resfriamento. Com o ensaio de temperabilidade é possível a análise da profundidade e distribuição da dureza no interior de uma amostra através da Curva Jominy de Endurecibilidade.

A norma ASTM A255-10, disponibiliza um método de cálculo que considera o teor de carbono e dos elementos de ligas contidos na amostra para a construção desta curva.

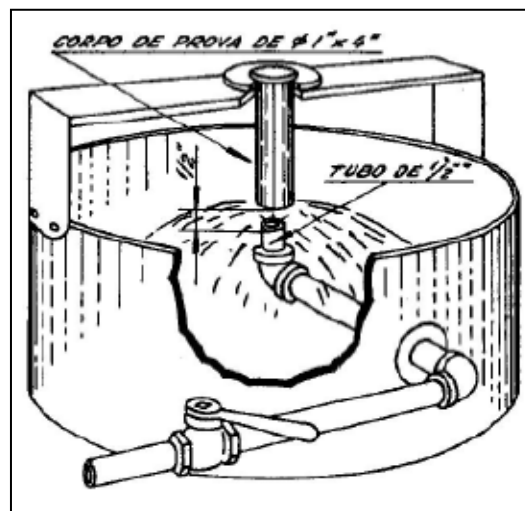
Os objetivos traçados para a realização deste trabalho foram os de avaliar o uso do programa para a elaboração da Curva Jominy com base na composição química do aço ligado 4340; executar os ensaios práticos com amostras de aço 4340 e por fim obter a análise dos resultados com uma comparação entre o resultado da curva teórica calculada com a curva do ensaio prático.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. A Temperabilidade

A temperabilidade é o objeto de estudo deste projeto, ela é obtida através do tratamento térmico de têmpera, que é o resfriamento rápido de uma amostra de aço após o aquecimento acima da temperatura de austenitização em um meio de grande capacidade de resfriamento. Segundo Callister [2] objetivo é transformar a austenita em martensita, que é o produto de maior dureza das transformações dos aços.

Para a análise entre dados teóricos e práticos, foram realizados os ensaios experimentais em amostras de um aço SAE 4340. A norma ASTM A255-10 especifica que para aços da série 4300 o aquecimento deva ser a temperatura de austenitização de 850°C por um período de tempo de 30 a 35 minutos, logo o a temperatura adotada foi a citada acima por 35 minutos.



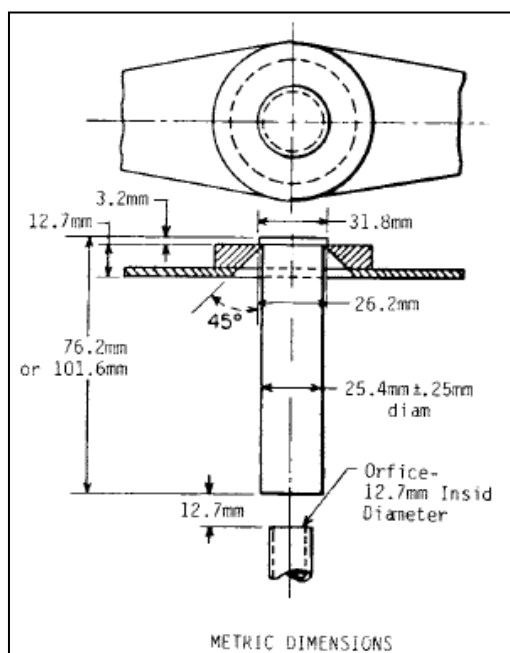
**Figura 1.** Ilustração do Aparato para o Ensaio de Temperabilidade Jominy

### 2.2. Ensaio Jominy Prático

Segundo Callister [2] o ensaio Jominy consiste em resfriar em água um corpo de prova cilíndrico com 1,0 pol. de diâmetro e 4,0 pol. de comprimento austenizado a uma temperatura e um período de tempo pré-determinado. Após a remoção do forno ele é rapidamente montado em um suporte, como está mostrado esquematicamente na Figura 1.

Segundo Dufour [3] a extremidade inferior é resfriada rapidamente mediante a um jato d'água com vazão e temperatura específica. Dessa forma a taxa de resfriamento assume um valor máximo na extremidade em que está sendo temperada e diminui em função da posição, desde esse ponto e ao longo do comprimento do corpo de prova.

O modelo de teste para a execução do ensaio Jominy está previsto na norma ASTM A255, que define as dimensões e geometria padrão da amostra para a execução do ensaio, como mostra a Figura 2.



**Figura 2.** Dimensões do corpo de prova cilíndrico para o ensaio Jominy.

Tais parâmetros foram adotados na confecção das amostras com o aço 4340, aplicados para a comparação de dados deste trabalho.

Segundo a Norma ASTM A255 [1], este método de cálculo do ensaio é aplicável apenas para a gama de composições químicas que se seguem na Tabela 1.

**Tabela 1.** Limite de Porcentagem do teor de elementos de liga para efeito de cálculo.

Elemento	Alcance em %
<b>Carbono</b>	0,10 a 0,70
<b>Manganês</b>	0,50 a 1,65
<b>Silício</b>	0,15 a 0,60
<b>Níquel</b>	1,50 máx.
<b>Cromo</b>	1,35 máx.
<b>Molibdênio</b>	0,55 máx.
<b>Cobre</b>	0,35 máx.
<b>Vanádio</b>	0,20 máx.

### 2.3. Elementos de Construção do Programa

Para a criação do programa se fez necessário a utilização da norma vigente para o ensaio Jominy que estabelece todos os parâmetros necessários para a realização do ensaio prático e tabelas e dados para a confecção da Curva Jominy por meio de interpretação e cálculos. Esta norma foi cedida pela

Orientadora deste trabalho a Professora Doutora Ana Beatriz Ramos Moreira Abrahão, em sua versão datada do ano de 2014, intitulada ASTM A255-10.

O framework utilizado como plataforma de desenvolvimento do programa, foi o *Visual Basic Express 2008*, que de acordo com a Microsoft [4] é uma linguagem de programação que possibilita a criação de aplicações gráficas para o Windows, de um modo fácil e rápido. O tipo de linguagem de programação utilizada pelo *Visual Basic* é orientada por eventos. O programa foi obtido por meio do convênio existente entre o Centro Paula Souza e a Microsoft, o “*DreamSpark*”, que oferece diversos aplicativos gratuitos da série de desenvolvedores para docentes e discentes das instituições de ensino do Centro Paula Souza (ETEC’s e FATEC’s).

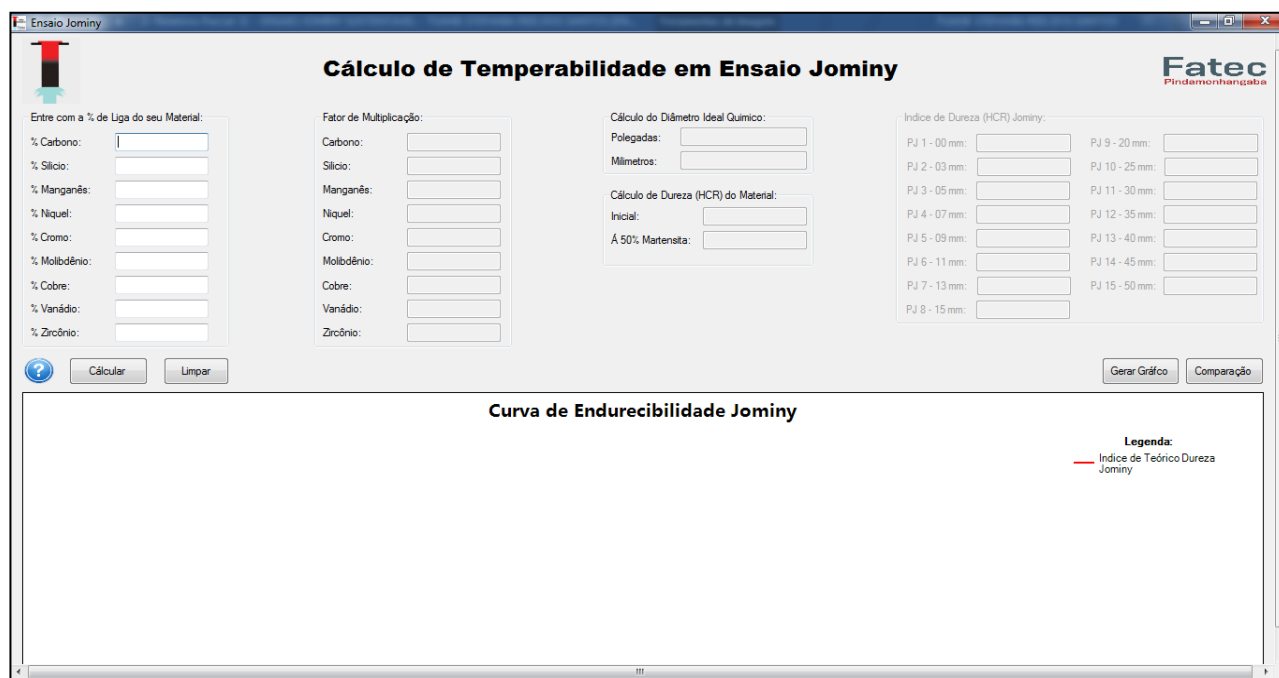
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O desenvolvimento do programa foi realizado de acordo com os parâmetros de cálculo fornecidos pela ASTM A255-10, que foram aplicados a lógica programada de *Visual Basic Express 2008*. Os cálculos considerados para esse programa são para aços sem teor de Boro em sua composição e todos os parâmetros foram aplicados utilizando a unidade de medidas em milímetros bem como os valores de dureza em HRC, conforme a norma.

O programa é gerado em um pacote de instalação simplificada, sendo fácil a instalação em qualquer microcomputador pelo próprio usuário.

#### 3.1. Funcionamento do Programa

O programa inicia-se com a tela de preenchimento do teor de elementos de liga do aço que se deseja ensaiar, como mostra a Figura 3.



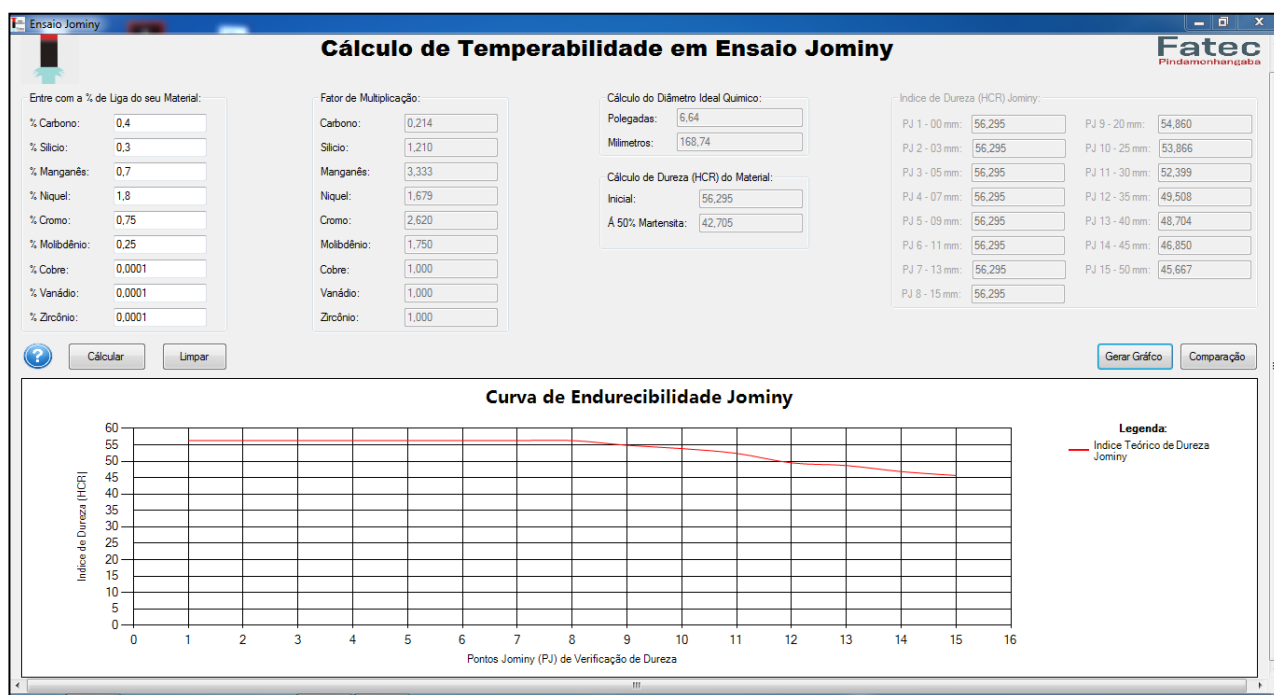
**Figura 3.** Tela Inicial do Programa para Ensaio Jominy Sustentável.

Nesta tela, nas caixas de texto ativas o usuário preenche conforme é indicado na lateral esquerda pelos rótulos, os dados da porcentagem de cada elemento de liga presente no aço.

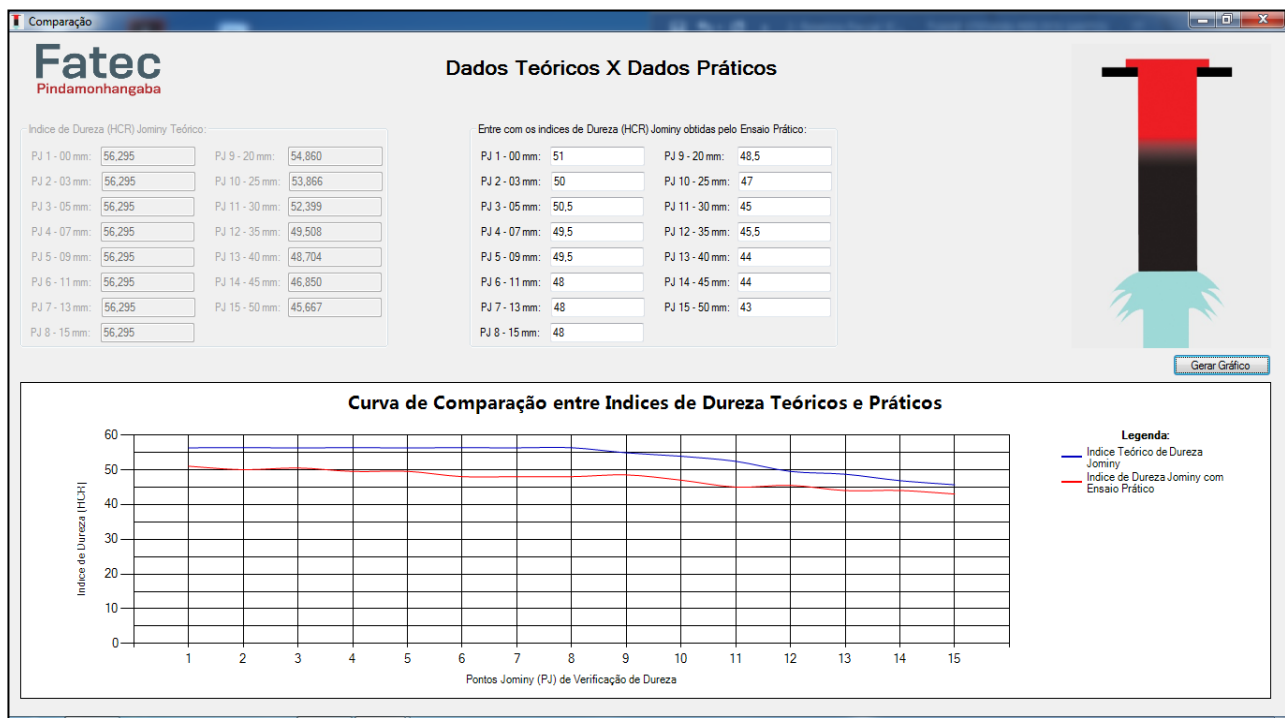
Após o preenchimento dos campos, basta clicar no botão indicado por “Calcular”, a partir daí o Programa realiza a rotina de cálculos e demonstra na área de “Índice de Dureza (HRC) Jominy” os valores de dureza que serão obtidos em cada Ponto Jominy (PJ) de verificação. Após todos os valores obtidos, o usuário está apto a gerar o gráfico da Curva Jominy, com o botão “Gerar Gráfico”, como mostra a Figura 4.

Com isto o programa conclui a primeira parte da análise do ensaio com a geração do gráfico da Curva Jominy que faz a relação entre a dureza HRC de cada ponto jominy de verificação ao longo do corpo da amostra com a distância na qual ponto de verificação se encontra da superfície resfriada. Após o gráfico com índices de dureza teóricos ser construído utilizando os dados do percentual de liga do aço 4340, o usuário pode fazer a comparação entre esses resultados e os resultados experimentais mediante a visualização das duas Curvas Jominy sendo representadas no mesmo gráfico utilizando o botão “Comparação”, que ao ser clicado exibe uma nova tela, como mostra a Figura 5, onde o usuário já tem disponibilizado os dados teóricos e completa nas caixas de texto ativas os valores de dureza em HRC encontrados no corpo de prova em ensaios experimentais, conforme a indicação pelos rótulos nas laterais, respeitando-se as medidas em milímetros estabelecidas pela norma, feito o preenchimento correto de todos os itens basta clicar no botão “Gerar Gráfico” que o programa apresentará as curvas para comparação, como exibido na Figura 5.

Mais estudos estão sendo realizados para que o programa possa considerar as unidades de medida em polegadas, além de analisar aços com Boro em sua composição, se assim o usuário desejar e ainda ao final elaborar um relatório em PDF contendo as informações pertinentes de cada teste realizado.



**Figura 4.** Gráfico gerado com Programa para Ensaio em Equipamento Jominy Sustentável a partir da rotina de cálculos para a composição do aço SAE 4340.



**Figura 5.** Tela de Comparação entre Curvas Jominy do Programa para Ensaio em Equipamento Jominy Sustentável, apresentando as curvas para uma amostra de aço SAE 4340.

## 5. CONCLUSÃO

Conclui-se que o projeto alcançou os objetivos propostos, sendo que a programação do programa garantiu a eficácia e clareza das análises fornecendo o perfil de dureza do aço. Adicionalmente, Com a representação da curva teórica pronta, o Programa permitiu a entrada de dados do ensaio experimental, e elaborou no mesmo gráfico as duas Curvas Jominy, possibilitando a análise e comparação entre os resultados calculados e os práticos.

## 6. REFERÊNCIAS

- [1] ASTM. *Métodos de Teste Padrão para Determinar a Temperabilidade do Aço*. West Conshohocken: Editora ASTM International, 2014.
- [2] CALLISTER, W. D. *Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução*. Rio de Janeiro: Editora LCT, 2002.
- [3] DUFOUR, J. *An Introduction to Metallurgy*. Texas: Editora Cooper Cameron Corporation, 2002.
- [4] MICROSOFT. *Ferramentas de Desenvolvimento de Linguagem - Visual Basic 2008*. Disponível em <https://msdn.microsoft.com/pt-br/library/2x7h1hfk.aspx>. Acesso em: 13/04/2016.