



ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS PROCESSOS DE SOLDA

STATISTICAL ANALYSIS OF WELDING PROCESSES

Caroline Zanardi Marques¹

Lucas Leandro Fernandes²

João Carlos Machado Junior³

Vinícius Giraldelli Salandim⁴

Sueli Souza Leite⁵

RESUMO: A solda é um processo de união microscópica que começou a ser usado em 1865 e tornou-se um dos principais processos metalúrgicos usados hoje. Diante deste fato realizou-se o ensaio de tração afim de determinar qual tipo de solda teve maior resistência mecânica, através da análise estatística das soldas entre diferentes tipos de chapas. Fazendo uso de análise de normalidade, variância e relevância determinou-se qual amostra obteve maior resistência mecânica.

Palavras-Chave: Tração, resistência mecânica, solda.

ABSTRACT: Welding is a microscopic joining process that began to be used in 1865 and has become one of the major metallurgical processes used today. In view of this fact, the tensile test was carried out in order to determine which type of weld had higher mechanical strength, through the statistical analysis of welds between different types of plates. Using the analysis of normality, variance and relevance, it was determined which sample obtained greater mechanical resistance.

¹ Graduando em Engenharia Mecânica, Unitoledo

² Graduando em Engenharia Mecânica, Unitoledo

³ Graduando em Engenharia Mecânica, Unitoledo

⁴ Graduando em Engenharia Mecânica, Unitoledo

⁵ Mestre em Engenharia Mecânica, Unesp

Keywords: Traction; mechanical resistance; welding.

1. INTRODUÇÃO

Um inglês chamado Wilde obteve a primeira patente de soldagem por arco elétrico em 1865, unindo com sucesso duas pequenas peças de ferro passando uma corrente elétrica através de ambas as peças e produzindo uma solda por fusão. Aproximadamente vinte anos depois, na Inglaterra dois ingleses registraram a primeira patente de um processo de soldagem, baseado em um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo de carvão e a peça a ser soldada, fundindo os metais à medida que o arco era manualmente passado sobre a junta a ser soldada.

Todos os esforços e melhoramentos durante o tempo, geraram no eletrodo revestido extrudado melhorando muito a qualidade do metal de solda e proporcionando aquilo que muitos consideram o mais significativo avanço na soldagem por arco elétrico. A busca contínua do aumento da produtividade propiciou o desenvolvimento de novos processos de soldagem. No entanto, ainda nos dias de hoje, é um processo muito empregado graças à sua grande versatilidade, ao baixo custo de operação, à simplicidade dos equipamentos necessários e à possibilidade de uso em locais de difícil acesso ou sujeitos a ventos. Os eletrodos revestidos necessitam de grande cuidado para armazenagem e geram grande volume de gases e fumos durante a soldagem. Mesmo assim, ainda continua a ser um processo de soldagem empregado na fabricação e montagem de equipamentos, na área de manutenção e reparos, em construções no campo, na soldagem por gravidade em estaleiros e de modo mais abrangente, na soldagem em geral de chapas de espessura variando de 3 mm a 40 mm (MACHADO, 1996).

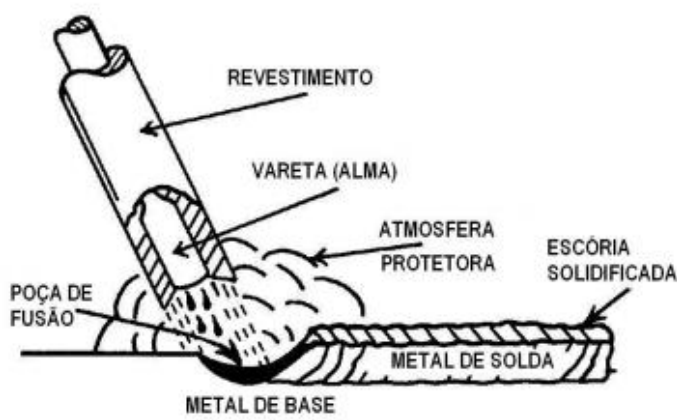


Figura 1 – Soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido.

Fonte: MACHADO (1996).

Segundo Marques (2009) existem dois métodos principais de união de metais. Um baseado em forças macroscópicas entre as partes que se deseja unir, como parafusos e rebites. O segundo é baseado em forças microscópicas, ou seja, a união é conseguida pela aproximação de átomos e moléculas dos materiais que se deseja unir, como a soldagem, brasagem e a colagem. O processo de união de metais mais importante na indústria é a soldagem.

Para assegurar a qualidade de uma junta soldada e garantir que esta possua as propriedades mecânicas mínimas para que possa ser aplicada sem risco, ensaios destrutivos e não destrutivos podem ser realizados no material soldado. Dentre os ensaios destrutivos um que se encontra amplamente disseminado na indústria é o ensaio de tração. Este ensaio consiste na aplicação de uma carga axial crescente de tração que é aplicada até a ruptura do material. Até que se atinja uma carga máxima, próxima ao fim do ensaio, pode-se afirmar que as deformações são praticamente uniformemente distribuídas (BRANCO, 2007). A Figura 2 mostra a máquina utilizada para este tipo de ensaio mecânico.

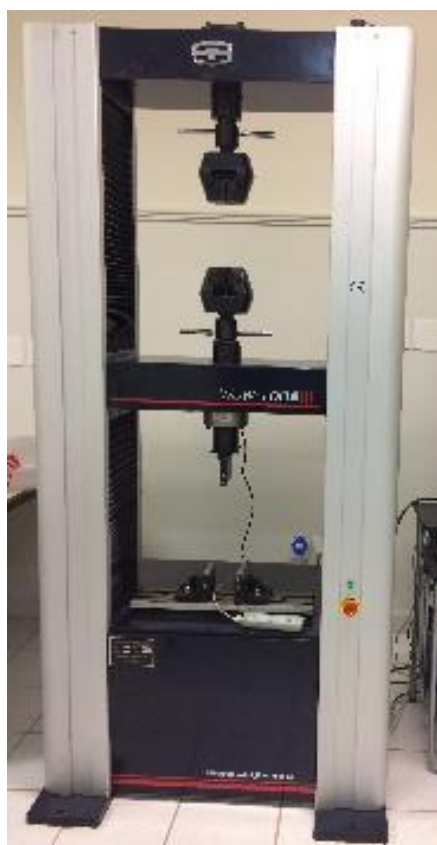


Figura 2 – Máquina utilizada para o ensaio de tração.

Fonte: Próprio Autor.

Após o ensaio com os dados do teste de tração podem-se calcular os diversos valores de tensão e deformação correspondente no corpo de prova e em seguida construir um gráfico tensão-deformação, como ilustrado na Figura 3 (HIBBELER, 2004).

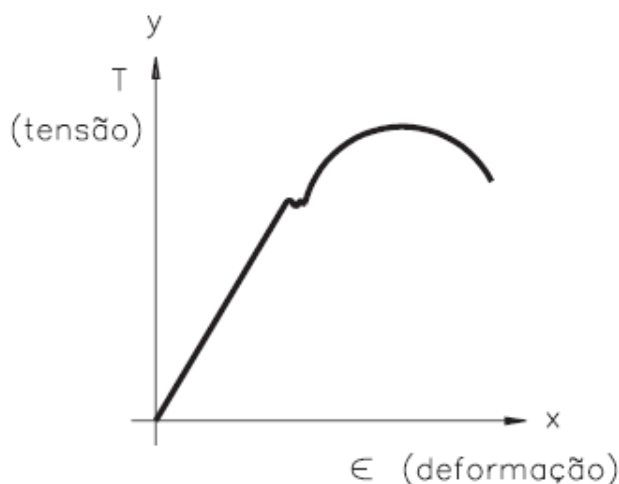


Figura 3 – Ilustração do gráfico tensão-deformação.

Fonte: BRANCO (2007).

Todos os resultados gerados durante estudos e pesquisas, necessitam de avaliações e verificações para dar normalidade e confiabilidade, ou seja, necessita de uma filtragem estatística. A estatística trabalha com os resultados associando os dados aos problemas, descobrindo como e o que coletar, assim, capacitando o pesquisador a obter conclusões confiáveis que possam ser compreendidas por outras pessoas. Portanto, os métodos estatísticos auxiliam o cientista, o economista, o engenheiro, o agrônomo e muitos outros profissionais a realizarem seu trabalho com eficiência (MORETTIN, 1999).

Segundo Correa (2003) “Estatística é uma parte da Matemática que fornece métodos para a coleta, organização, descrição, análise e interpretação de dados, viabilizando a utilização dos mesmos na tomada de decisões.”

2. OBJETIVOS

Averiguar o comportamento da tensão de tração de diferentes emendas de solda em chapas de aço SAE 1008, tal estudo irá permitir avaliar a área soldada nos diferentes casos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Chapas de Aço - SAE 1008

Eletrodo revestido - 6013

Máscara de solda

Luva de raspa

Óculos de proteção incolor

Avental de raspa

Máquina Eletromecânica Universal WDW-100E III (SHINJIN)

Máquina de solda NM 250 Turbo

3.2 Métodos

Através de um eletrodo revestido acoplado a uma máquina elétrica de solda, realizou-se a soldagem das chapas de aço como mostrado na Figura 4. Foram selecionados cinco tipos de amostras, cada amostra foi soldada com emendas diferentes, cujas siglas e suas respectivas informações estão na Tabela 1.

A amostra (T5) não foi soldada, apenas ensaiada para que seus dados sejam comparados aos demais. As chapas foram soldadas da seguinte forma: corte chanfrado, corte reto, duas chapas sobrepostas e três chapas sobrepostas. Sendo o espaço amostral:

T1 = Uma chapa soldada chanfrada.

T2 = Uma chapa soldada reta.

T3 = Duas chapas soldadas sobrepostas.

T4 = Três chapas soldadas sobrepostas.

T5 = Uma chapa sem solda.

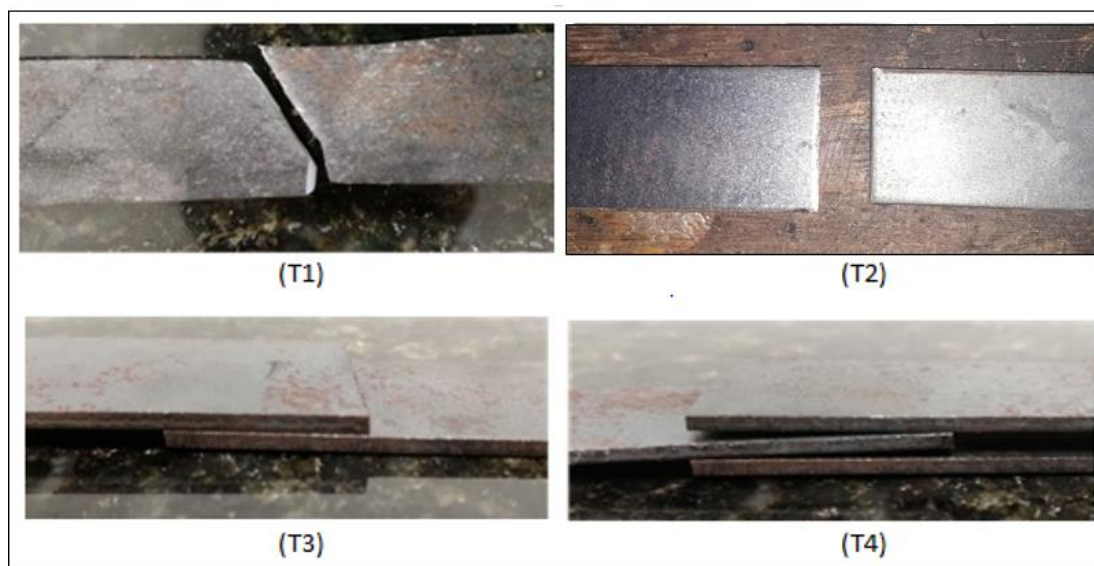


Figura 4 – Disposição das chapas a serem soldadas.

Fonte: Próprio autor.

As amostras soldadas foram submetidas ao ensaio de tração. O rompimento do material foi conduzido por meio da máquina eletromecânica universal WDW-100E III (SHINJIN), esta é capaz de aplicar um esforço sobre o corpo de prova que tende a deformá-lo até o rompimento, sendo possível medir a tensão de ruptura e analisar qual forma de soldagem obteve o melhor desempenho.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram coletados os dados de quatro ensaios de tração referente a cada amostra e obteve-se resultados que foram dispostos na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores de Tensão

Medidas	T1 - Uma chapa soldada chanfrada	T2 - Uma chapa soldada reta	T3 - Duas chapas soldadas sobrepostas	T4 - Três chapas soldadas sobrepostas	T5 - Uma chapa sem solda
Medição 1	240,08	449,40	193,80	220,50	1190,43
Medição 2	373,80	465,00	222,30	235,10	1180,76
Medição 3	421,20	173,12	231,40	238,60	1176,43
Medição 4	428,60	397,60	205,70	235,60	1190,67
Média	365,90	371,30	213,30	232,40	1185,00
Desvio Padrão	87,34	135,21	16,80	8,12	7,13
Variância	7627,49	18282,10	282,21	65,86	50,77

Fonte: Próprio autor

A tabela 1 apresenta os valores da média, desvio padrão e variância de cada amostra. A média dos valores é obtida a partir da soma dos resultados dividido pelo número de medições. Dessa forma a amostra com a média maior foi T2, ou seja a tensão suportada pela amostra foi a que mais se aproximou da tensão suportada por uma chapa íntegra.

O desvio padrão expressa o grau de dispersão de um conjunto de dados, isto é, indica o quanto um conjunto de dados é uniforme. Quanto mais próximo de 0 for o desvio padrão, mais homogêneo são os dados. A variância mostra o quão distante cada valor desse conjunto está do valor médio. Neste caso as medições da amostra T4 apresentam maior uniformidade e menor variância entre os dados.

Para verificar a normalidade dos resultados, realizou-se o teste de normalidade, que verifica se a distribuição de probabilidade associada a um conjunto de dados pode ser aproximada pela distribuição normal. Para esta etapa foi realizado o teste de Shapiro-Wilk, cujos valores das respectivas variáveis estão na Tabela 2, constatando normalidade, pois o p-valor foi acima de 0,05 em todas as análises.

Tabela 2 – Resultados do teste de Shapiro-Wilk

Condições das amostras	p-valor
T1	0.15660
T2	0.09879
T3	0.81850
T4	0.09144
T5	0.23420

Fonte: Próprio autor

Com o objetivo de analisar a influência dos tipos de solda na resistência da tração, realizou-se a análise de variância ANOVA, exposto na Tabela 3.

Tabela 3 – Análise de variância ANOVA, dos valores de tensão de tração da solda.

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-p	F crítico
Entre grupos	2613823	4	653455,6	124,1913	2,63e-11	3,055568
Dentro dos grupos	78925,28	15	5261,685			
Total	2692748	19				

Fonte: Próprio autor

Nota-se que o valor crítico para F é menor que F obtido e o valor -p é menor que 0,005. Este resultado demonstra que o tipo de emenda da solda nas chapas de aço de fato influencia na resistência a tração, porém, a ANOVA não qualifica a melhor de forma de soldagem, apenas ressalta que pelo menos uma das condições se difere das demais, mas não mostra quais e nem quantas maneiras são diferentes do ponto de vista estatístico através da análise da variabilidade, em relação à média dos dados.

Após o cálculo da ANOVA, fez o gráfico boxplot, para simplificar a interpretação dos dados observados na Figura 5.

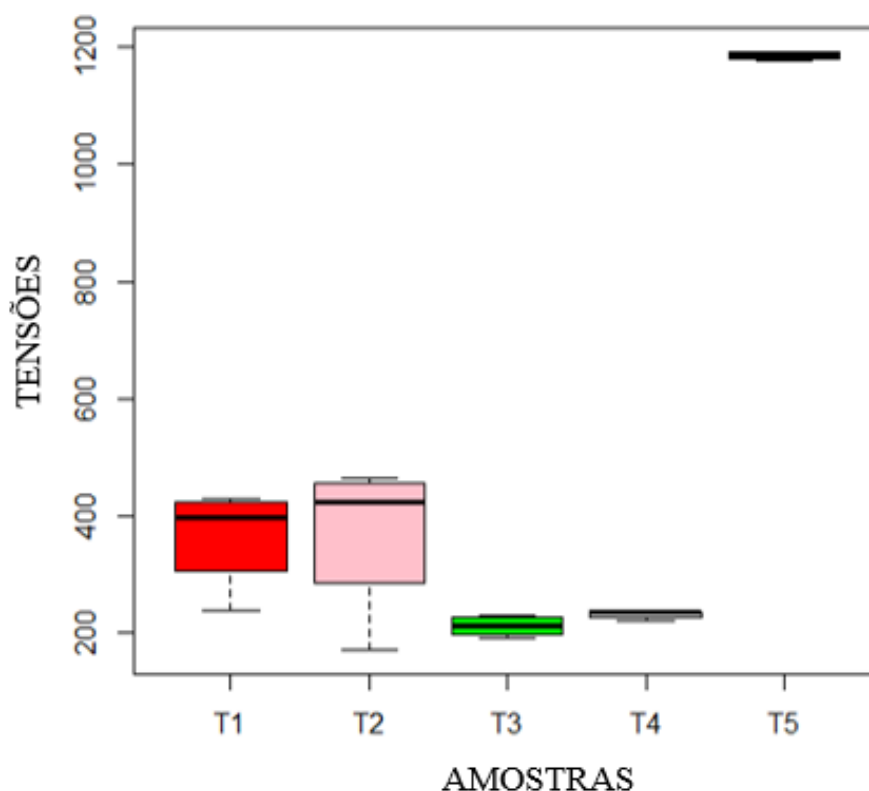


Figura 5 – Gráfico boxplot
Fonte: Próprio autor

Observa-se no gráfico boxplot que a amostra T5 teve maior resistência mecânica. Porém, em relação as chapas soldadas, a condição T2, apresentou maior resistência a tração. Esta apresenta também maior variabilidade em relação à média, enquanto as amostras T3 e T4 são mais precisas do ponto de vista estatístico, porém menos resistentes a tração. Isto justifica, os valores presentes na Tabela 1.

A melhor resistência a tração da amostra T2, deve-se ao fato da área de contato com a solda, pois, na solda de topo reto preencheu-se o espaço entre as duas chapas, enquanto na placa chanfrada houve o contato somente entre as duas faces. Essa particularidade justifica a maior resistência da solda na chapa do topo reto e pode ser melhor observada no esquema da Figura 6.

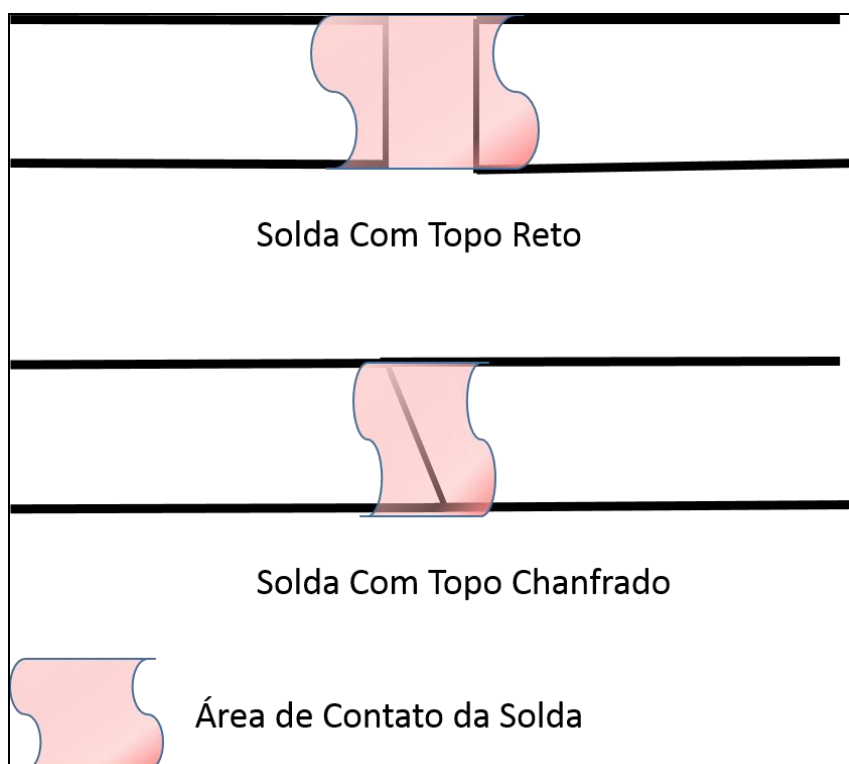


Figura 6 – Esquema das soldas de topo reto e chanfrada
Fonte: Próprio autor

Nos ensaios realizados com as chapas sobrepostas das amostras T3 e T4, não houve a ruptura na solda e sim na lâmina. Isso deve-se ao esforço cisalhante que atua ao tracionar as chapas. Na amostra T3 ocorre o cisalhamento simples e a amostra T4 ocorre o cilhamento duplo observados na Figura 7.

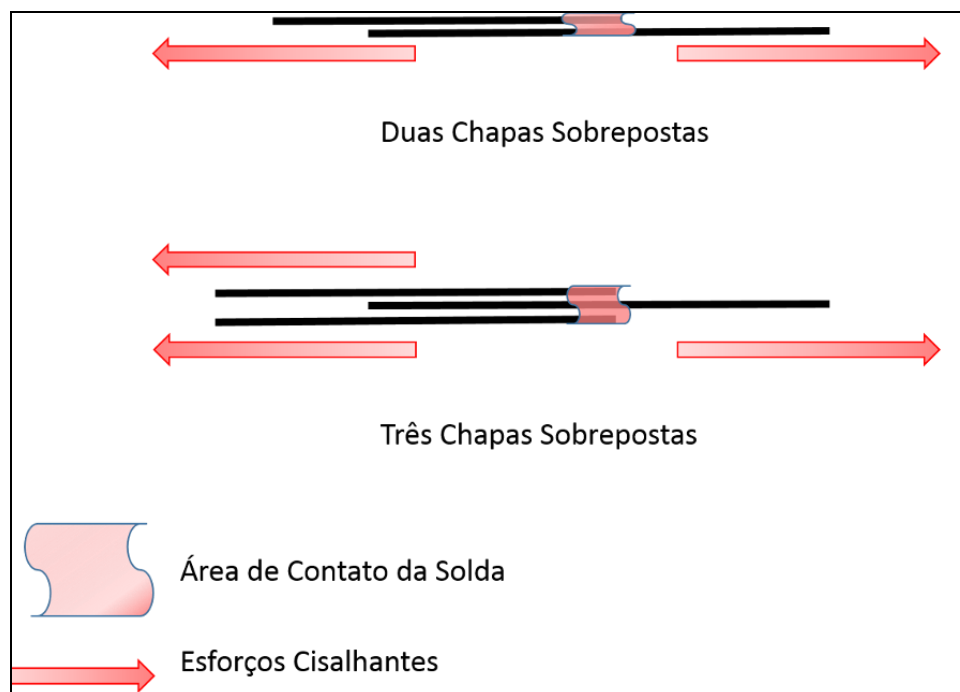


Figura 7 – Esquema de cisalhamento simples e cisalhamento duplo
Fonte: Próprio autor

Para finalizar a análise estatística, realizou o teste de Tuckey, utilizado para determinar quais condições diferem estatisticamente entre si. O resultado é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultado da aplicação do teste de Tuckey

Tensões	Diff	Lwr	upr	p adj
T1-T2	5,3600	153,0250	163,7450	0,9999
T3-T4	19,1500	-139,2350	177,5251	0,9954

Fonte: Próprio autor

Os valores de “p adj” obtidos expressam que os processos de soldagem podem diferenciar entre si. Caso for 0, os dois processos envolvidos não se diferem estatisticamente, no entanto, quanto mais próximo de 1, maior será a relevância estatística entre eles. O valor “p adj” obtido ao comparar as condições T1 e T2 é bem próximo a um, assim como entre T3 e T4, ou seja, a forma escolhida para soldar as lâminas são realmente diferentes entre si. Escolher entre as chapas retas e chanfradas ou sobrepostas duplas e triplas afeta diretamente as tensões de ruptura respectivas.

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos percebe-se que dentre o espaço amostral a solda T2 obteve maior resistência mecânica devido a forma de soldagem, de topo reto, comparado a soldagem de topo chanfrando, e as demais sobrepostas. Constata-se também que devido a força cisalhante, que resiste menos ao esforço de tração, as chapas sobrepostas romperam-se com tensões bem próximas e com módulos menores que as chapas lineares, ainda que quantidade de material usado na soldagem tenha sido maior.

REFERÊNCIAS

BEER, F. P. & JOHNSTON, E. R. **Resistência dos Materiais. MAKRON Books, 3ª Ed**, 1995.

BRANCO, F. K. **Influência da Microestrutura na Anisotropia de Chapas Metálicas de Diferentes Aços Estruturais**, 2007. Projeto de Iniciação Científica; 2007, FEI, Centro Universitário da FEI, São Paulo, 2007.

CORREA, S. M. **Probabilidade e estatística**, 2ª edição. - Belo Horizonte: PUC Minas Virtual, 2003.

HIIBBELER, R. C., **Resistência dos Materiais. Pearson Prentice Hall**, 5ª edição, São Paulo, 2004.

MACHADO, I. G. **Soldagem & técnicas conexas: processos**. Porto Alegre: Machado, 1996.

MARQUES, P.V; Modenesi, P.J; Bracarense, A.Q. “Soldagem: Fundamentos e Tecnologia”. 3 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2009.

MORETTIN, L.G. *Estatística Básica – Vol.1 – Probabilidade*. São Paulo: Makron Books, 1999.