

Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade FUMEC  
Escola de Engenharia da UFMG  
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto  
<http://www.fumec.br/revistas/construindo/index>

ISSN 2318-6127 (online)  
ISSN 2175-7143 (impresa)  
Recebido para publicação em 08/12/2017  
Aceito em 10/01/2018

## **ENSAIOS PARA DETERMINAÇÃO DE RESISTÊNCIA EM JUNTAS SOLDADAS**

*TESTS FOR DETERMINATION OF RESISTANCE IN WELDED JOINTS*

### **CASTRO, Nara Linhares B.**

Engenheira civil, Especialista em Métodos Computacionais Estatísticos, UFJF, MBA em Gestão e Planejamento de Projetos, Engenheira de Segurança do Trabalho, Mestranda em Construção Civil, Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, UFMG  
[linhares.nara@gmail.com](mailto:linhares.nara@gmail.com)

### **FERREIRA, Cláudia Rodrigues**

Arquiteta e Urbanista, UFMG, profissional da área de Arquitetura Comercial na Mall Sete Arquitetura e Projetos, aspirante ao Mestrado em Construção Civil, Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, UFMG  
[claudiarodrigues.arq@gmail.com](mailto:claudiarodrigues.arq@gmail.com)

### **LEITE, Darlan Ulhôa**

Engenheiro Civil, Especialista em Perícias e Avaliações de Engenharia, PUC-MG, Mestrando em Construção Civil, Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, UFMG  
[darlan@adept.eng.br](mailto:darlan@adept.eng.br)

### **LIMA, Karla Ulisses**

Professora do departamento de Engenharia Civil do Instituto Federal do Norte de Minas Gerais - campus Januária, Especialista em Segurança do Trabalho, Faculdades Pitágoras 2016, Mestranda em Construção Civil, Departamento de Engenharia de Materiais de Construção – UFMG  
[karla.lima@infmg.edu.br](mailto:karla.lima@infmg.edu.br)

### **VIEIRA, Mauro Eugênio Lechi**

Engenheiro Civil, Especialista em Tecnologia e Produtividade da Construção Civil, UFMG, Avaliações e Perícias de Engenharia, UFMG, Mestrando em Construção Civil, Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, UFMG  
[maurolec@hotmail.com](mailto:maurolec@hotmail.com)

## RESUMO

As juntas soldadas possuem papel importante na indústria, sendo de extrema importância para garantir a estabilidade de estruturas/equipamentos, bem como para certificar que as obras suportarão os esforços aos quais serão submetidos ao longo de sua utilização. Para garantia da qualidade das juntas soldadas é necessário, além de uma execução precisa, por profissionais qualificados, comprovar, por meio de testes, se as características das soldas realizadas encontram-se em conformidade com as necessidades dos projetos. Diante da importância de comprovação da qualidade das soldas, foram desenvolvidos diversos ensaios destrutivos e não destrutivos para se obter as características das soldas executadas. Sendo assim, com o objetivo de apresentar as possibilidades de obtenção de características (qualidade) das juntas soldadas, alguns destes ensaios serão evidenciados neste trabalho.

**Palavras-chave:** Juntas soldadas. Testes. Destrutivos e não destrutivos.

## ABSTRACT

Welded joints play an important role in the industry, being extremely important to ensure the stability of structures / equipment, as well as to ensure that they will withstand the stresses to which they will be subjected throughout their use. In order to guarantee the quality of welded joints, it is necessary, in addition to a precise execution, by qualified professionals, to prove, by means of tests, whether the welding characteristics are in accordance with the needs of the projects. Given the importance of proving the quality of the welds, several destructive and non-destructive tests were developed to obtain the characteristics of the welds performed. Thus, in order to present the possibilities of obtaining characteristics (quality) of welded joints, some of these tests will be evidenced in this work.

**Keywords:** Welded joints. Tests. Destructive and non-destructive.

## 1. INTRODUÇÃO

A correta execução de juntas soldadas em estruturas/equipamentos metálicos é de extrema importância para garantir a estabilidade da obra, bem como para evitar falhas, acidentes e catástrofes. Tendo em vista a necessidade de garantir a qualidade das juntas soldadas, existem diversos ensaios destrutivos e não destrutivos disponíveis no mercado, que possibilitam determinar a resistência das juntas executadas.

Segundo a ABENDE (2004), os ensaios não destrutivos, são ensaios realizados em materiais, acabados ou semi-acabados para verificar a existência ou não de descontinuidades ou defeitos, através de princípios físicos definidos, sem alterar suas características físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais e sem interferir em seu uso posterior.

Neste artigo serão apresentados dois ensaios destrutivos (tração e dobramento), quatro ensaios não destrutivos (líquido penetrante, partículas magnéticas, radiográfico e ultrassom), bem como será apresentada explicação inicial sobre alguns tipos de soldas.

## 2. SOLDAGEM

Segundo Modenesi, Marques e Santos (2012), o conceito de soldagem pode ser definido como "Operação que visa obter a união de duas ou mais peças, assegurando, na junta soldada, a continuidade de propriedades físicas, químicas e metalúrgicas".

Basicamente, nas peças metálicas, os átomos presentes na parte interna estão cercados por outros átomos, através de pequenas distâncias, ligados à um número grande de vizinhos. Esse excesso de ligações atômicas determina tendência (energia) mínima de se ligarem a outros átomos. Já na superfície da peça metálica, como o número de átomos vizinhos é menor, apresentam maior energia livre, podendo se unir a outros átomos. Portanto, se aproximarmos duas peças metálicas a uma distância muito pequena, os átomos das superfícies, em princípio, podem se ligar permanentemente. (MODENESI; MARQUES; SANTOS, 2012)

A ligação entre dois cubos de gelo é um exemplo desse efeito. Porém, a menos que condições especiais estejam presentes, esse efeito não ocorre em peças metálicas. A explicação para esse fato está no excesso de rugosidade superficial, na presença de umidade, gordura, corrosão, poeira e outros contaminantes superficiais que impedem o contato real e as ligações entre as peças metálicas (MODENESI; MARQUES; SANTOS; 2012).

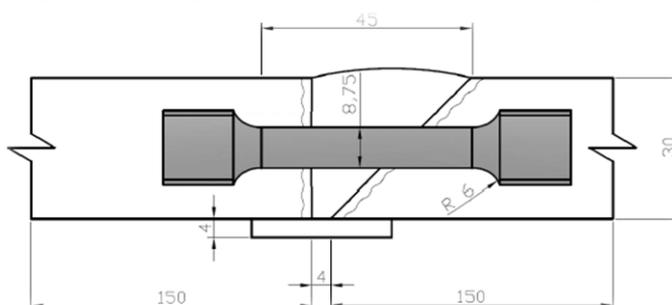
### 3. ENSAIOS DESTRUTIVOS

Neste item serão apresentados os ensaios de tração e os ensaios de dobramento.

#### Ensaio de Tração

O objetivo deste teste é avaliar a resistência mecânica e ductilidade da junta soldada. Normalmente para juntas de baixa espessura o corpo de prova é retirado transversalmente ao cordão de solda (MADEIRA e MODENESI, 2010), conforme Figura 1. O ensaio consiste em tracionar uniaxialmente o metal base (MB) do corpo de prova sob esforço progressivo até sua ruptura.

Figura 1 - Esquema de retirada de corpos de prova.



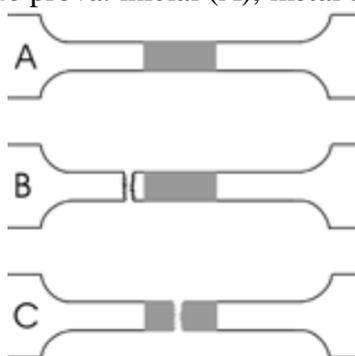
Fonte: JUNIOR, 2013.

Com os dados obtidos observa-se inicialmente o local de ruptura, sendo este no metal base (MB) ou no metal de solda (MS), conforme

Figura 2. Para cada uma das situações é feita a análise do limite de resistência (LR) e do alongamento (AL) a fim de determinar a possibilidade de uso ou não de determinados tipos de solda na indústria ou construção civil.

Sabe-se que em alguns casos o corpo de prova tende a romper-se no metal base. Quando isso ocorre, a junta soldada acaba não sendo testada até seu limite de resistência e, portanto, os valores das propriedades mecânicas não devem ser comparados. Caso o rompimento ocorra na junta, haverá influência direta da deformação do metal base nos resultados (MADEIRA e MODENESI, 2010).

Figura 2 -Rompimento dos corpos de prova: inicial (A), metal base (B) e metal de solda (C).



Fonte: ASM TREINAMENTOS, 2007.

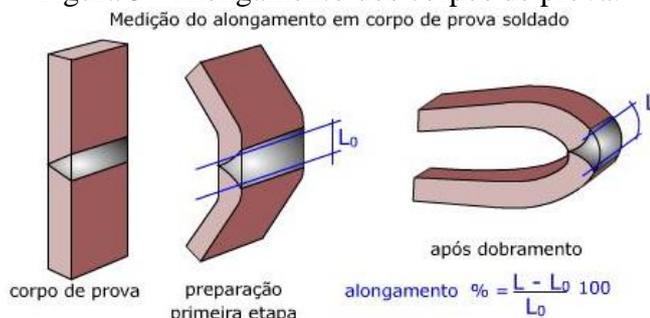
### Ensaio de Dobramento

O ensaio consiste em dobrar um corpo de prova de eixo retilíneo e seção circular (maciça ou tubular), retangular ou quadrada, assentando em dois apoios afastados a uma distância especificada por meio de um cutelo, que aplica um esforço perpendicular ao eixo do corpo de prova, até que seja atingido um ângulo desejado (RODRIGUES, 2014).

A norma internacional ASTM E190-92 (Standard Test Method for Guided Bend Test for Ductility of Welds ASTM-G E190-92, 2008) define um método específico para os ensaios guiados, que são os mais utilizados quando o objetivo é a verificação da qualidade da solda.

A retirada de corpos de prova ocorre em chapas e tubos soldados, além de possuir dimensões diferentes para materiais ferrosos ou não ferrosos. Em geral a largura ( $L$ ) = 1,5 x espessura ( $E$ ) e o ângulo de dobramento  $180^\circ$ . Ao fim do teste é medido o alongamento ( $L$ ) das fibras externas em comparação à largura da solda inicial ( $L_0$ ), conforme Figura 3 e Figura 4. A existência ou não de fissurações e fendas na região tracionada determinará a qualificação do material para utilização. Defeitos com mais de 03mm são considerados relevantes para a rejeição da peça (CIMM, 2017).

Figura 3 - Alongamento dos corpos de prova.



Fonte: CIMM, 2017.

Figura 4– Corpos de prova após ensaio.



Fonte: INSTRON, 2017.

#### 4. ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

Neste item serão apresentados os ensaios de líquido penetrante, partículas magnéticas, radiográfico e ultrassom.

##### Líquido penetrante

A Inspeção por Líquido Penetrante é um método não destrutivo que revela discontinuidades que são abertas nas superfícies dos sólidos e, essencialmente, materiais não porosos (ASM Metal Handbook, Nondestructive Evaluation and Quality, 1989).

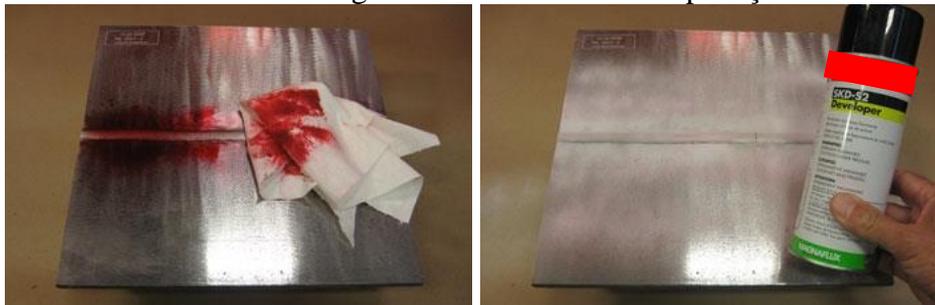
O ensaio identifica a capacidade do líquido penetrar em aberturas na superfície da peça, fluindo sobre a superfície de uma forma contínua e uniforme e posteriormente migrando pelas cavidades que estão abertas para a superfície (SAMPAIO, 2009). O ensaio pode ser explicado conforme abaixo.

Figura 5 - Procedimentos 1 e 2. A imagem à esquerda refere-se à limpeza da peça e a imagem à direita refere-se à aplicação do líquido penetrante.



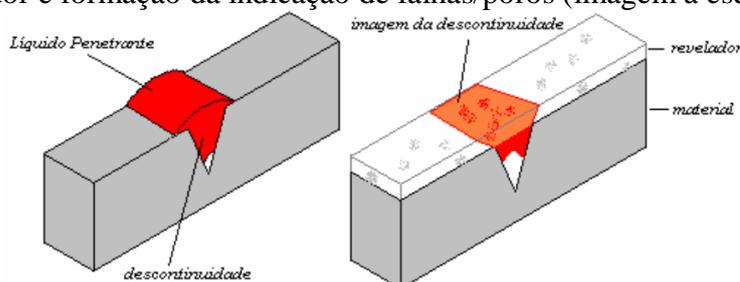
Fonte: WORMAN, 2011.

Figura 6 - Procedimentos 3 e 4. A imagem à esquerda refere-se à remoção do líquido penetrante excedente e a imagem à direita refere-se à aplicação do revelador.



Fonte: WORMAN, 2011.

Figura 7 – Aplicação do líquido penetrante (imagem à esquerda) e aplicação do revelador e formação da indicação de falhas/poros (imagem à esquerda).



Fonte: SAMPAIO, 2009.

Verifica-se que, pelo fato deste ensaio aplicar um líquido penetrante na superfície das peças/soldas, trata-se de um teste limitado à identificação de fissuras e falhas na parte superficial do material ensaiado.

### Ensaio por partículas magnéticas

O ensaio por partículas magnéticas consiste em um tipo de ensaio não destrutivo e é utilizado em materiais ferromagnéticos, por exemplo em materiais fundidos, laminados, peças soldadas, entre outros. Geralmente é realizado o ensaio no decorrer e após o processo de fabricação, de modo que falhas superficiais e subsuperficiais sejam identificadas (CARNEVAL et al, 2007).

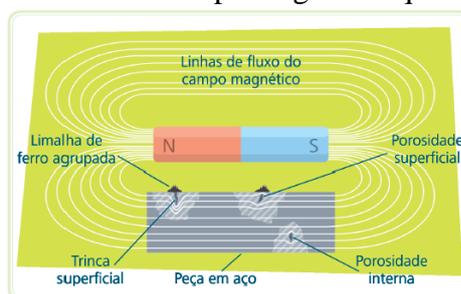
A peça a ser submetida ao ensaio de partículas magnéticas é magnetizada por meio de uma corrente elétrica (Figura 8) e há uma concentração das linhas provenientes do campo magnético no material. Se houver uma descontinuidade no objeto, esta falha se comportará como um obstáculo às linhas de fluxo magnético desviando o campo, que sobressairá a superfície da peça. Esse evento faz com que o campo magnético atraia de forma mais intensa as partículas de ferro aspergidas sobre a peça durante o ensaio e a aglomeração dessas partículas indicará o perímetro do campo de fuga (Figura 9), revelando assim, a forma e comprimento da falha. (CARNEVAL et al, 2007).

Figura 8 - Magnetização utilizando ferramenta Yoke.



Fonte: ANDREUCCI, 2009.

Figura 9 – Comportamento do campo magnético quando há falhas na peça



Fonte: ZOLIN, 2011.

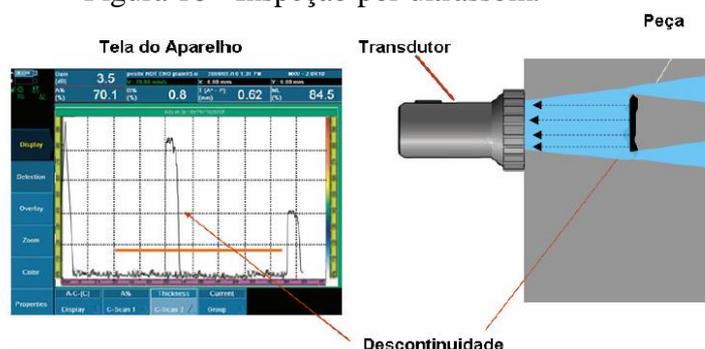
A metodologia deste ensaio consiste basicamente em cinco etapas: preparação e limpeza da superfície, magnetização da peça, aplicação das partículas magnéticas e inspeção da peça e limpeza após análise e por fim, desmagnetização da peça (ZOLIN, 2011).

### Ensaio de ultrassom

O ensaio de ultrassom é um ensaio não destrutivo que tem a finalidade de verificar possíveis defeitos, falhas ou descontinuidades internas de materiais ferrosos e não ferrosos (ANDREUCCI, 2014).

Em materiais ferrosos, utilizando o ensaio de ultrassom, é possível verificar a espessura das paredes, detectar corrosão, bolhas de gás em fundidos, dupla laminação em laminados, micro trincas em forjados, descontinuidades oriundas de operações de soldagem, escórias em uniões soldadas e muitos outros. Portanto, este ensaio visa minimizar as incertezas em materiais, soldas e peças de responsabilidade. (ANDREUCCI, 2014).

Figura 10 - Inspeção por ultrassom.



Fonte: ANDREUCCI, 2014.

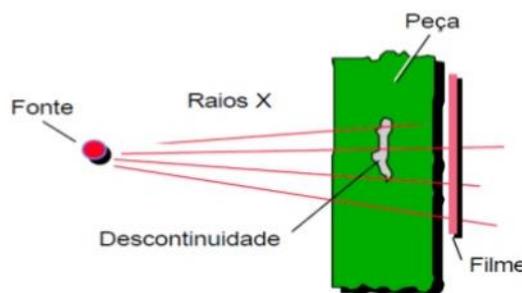
Analisando a posição do eco na tela do aparelho, o inspetor poderá localizar a descontinuidade no volume de solda, assim como avaliar sua dimensão e comparar com os critérios de aceitação aplicáveis (ANDREUCCI, 2014).

Segundo Andreucci (2014), o método ultrassônico possui alta sensibilidade na detecção de pequenas descontinuidades internas.

### Ensaio radiográfico

O ensaio de radiografia, aplicado a juntas soldadas, é um tipo de ensaio não-destrutivo que se baseia na absorção diferenciada da radiação penetrante na peça inspecionada. O princípio do ensaio se baseia nas diferenças das características de absorção causadas por variações na composição do material, nas quais, diferentes regiões de uma peça absorvem quantidades diferentes da radiação penetrante. O ensaio radiográfico emite radiação, sendo esta composta de raios- X raios- $\delta$  (gama) penetrando nas juntas soldadas sólidas, interagindo com a matéria, sendo mais absorvida por corpos mais densos do que nos menos densos. Esta radiação é captada por um filme fotográfico de tela fluorescente. Nos vazios ou descontinuidade existe menos material para absorver a radiação. Assim, a quantidade de radiação que atravessa o material não é a mesma em todas as regiões.

Figura 11 – Processamento de ensaio radiográfico na indústria.



Fonte: Acervo Prof<sup>o</sup>, Tn. Nathanael Melchisedeck Brancaglioni.

De acordo com Silva Junior; Marques (2006), as principais discontinuidades em juntas soldadas são: trincas, porosidades, inclusões de escória ou tungstênio, falta de penetração, falta de fusão e mordeduras.

Para avaliação destes defeitos por meio de ensaio radiográfico deve-se levar em conta que, segundo Andreucci (2010), na execução de um ensaio radiográfico, se a direção do plano que contém a trinca coincide com o feixe de radiação, sua imagem poderá não aparecer no filme.

## 5. CONCLUSÕES

Conforme apresentado neste trabalho, diversos são os testes existentes no mercado para a obtenção das características e, conseqüentemente, a qualidade das juntas soldadas das estruturas/equipamentos metálicos.

Existem ensaios com complexidades distintas, tanto de execução quanto de interpretação dos resultados, os quais devem ser utilizados de acordo com as necessidades especificadas nos projetos. É importante destacar ainda que, para cada ensaio, seja destrutivo ou não destrutivo, é necessária a execução por profissionais especializados na matéria para que seja possível obter resultados e interpretações corretas dos mesmos.

## REFERÊNCIAS

- ABENDE (2004). Apostila Sobre Ensaios Não-Destrutivos, disponível em: [www.abende.org.br](http://www.abende.org.br), campo Conheça os Ensaios Não Destrutivos, acessado em: 26/05/04.
- ANDREUCCI, R. Ensaio não destrutivo por ultrassom. São Paulo, Associação Brasileira de ensaios não destrutivos e inspeção – ABENDI. Edição de Maio / 2014.
- ANDREUCCI, R. Ensaio por partículas magnéticas, Ed. 2ª. Disponível em: <http://www.aendur.ancap.com.uy/boletin/ensaioporticulasmagneticas.pdf> Acessado em: 16 jun. 2017.
- ASM Metal Handbook, Nondestructive Evaluation and Quality,. 9ª. ed. [S.l.]: ASM International, v. 17, 1989.
- ASTM A370. Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, p. 49. 2003.
- ASTM-G E190-92. Standard Test Method for Guided Bend Test for Ductility of Welds. American Society for testing and Materials. West Conshohocken, p. 4. 2008.

- CARNEVAL, R. O. et al. Uso das Técnicas de END: Ultra-som (TOFD e Phased Array), Radiografia, Partículas Magnéticas e ACFM na Avaliação de Juntas Soldadas com Trincas de Fadiga. IV Conferencia Panamericana de END, Buenos Aires, Out. 2007. Disponível em: <http://www.ndt.net/article/panndt2007/papers/29.pdf> Acesso em: 16 jun. 2017.
- CIMM. Centro de Informação Metal Mecânica, 2017. Disponível em: <[http://www.cimm.com.br/portal/material\\_didatico/6595-principais-aplicacoes#.WUQ3t-srKUI](http://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/6595-principais-aplicacoes#.WUQ3t-srKUI)>. Acesso em: jun. 2017.
- INSTRON, 2017. Disponível em: <<http://www.instron.us/en-us/testing-solutions/by-test-type/flexure/astm-e190-aws-b40>>.
- MADEIRA, P.; MODENESI, P. J. Utilização do Ensaio Erichsen para a Avaliação do Desempenho de Juntas Soldadas. Soldagem Insp., São Paulo, Jan/Mar 2010. 30.
- MODENESI, P. J.; MARQUES, P. V.; SANTOS, D. B. Introdução à Metalurgia da Soldagem. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.
- RODRIGUES, L. E. M. J. Ensaios Mecânicos de Materiais. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. São Paulo. 2014.
- SAMPAIO, M. V. C. Aplicação de inspeção não intrusiva em equipamentos do sistema de dessulfurização de gás natural da plataforma de pampo. (Dissertação de Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- SILVA JUNIOR, S. F.; MARQUES, P. V. Ensaios Não Destrutivos. Apostila, Belo Horizonte: 2006.
- Standard Test Method for Guided Bend Test for Ductility of Welds ASTM-G E190-92. American Society for testing and Materials. West Conshohocken, p. 4. 2008.
- WORMAN, J. Liquid Penetrant Examination. National Board Bulletin, v. 66, p. 6-9, 2011. ISSN 1.
- ZOLIN, I. Ensaios Mecânicos e Análises de Falhas. Santa Maria: Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, 2011.