



Reconectando Pessoas,
Ciências, Artes e
Tecnologia

Anais do

XI Congresso de Engenharias da UFSJ

Part of ISSN 2237-0358

Conteúdo disponível em: doi.org/10.29327/1317088.11-1



ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS DE SOLDAS: UM CASO PRÁTICO DE APLICAÇÃO DE ENSAIO VISUAL EM PEÇAS DE CALDEIRARIA

Alex Sander Chaves da Silva ⁽¹⁾ (achaves@ufs.ju.edu.br)

Eduardo Miguel da Silva ⁽¹⁾ (eduardosilva@ufs.ju.edu.br)

Emanuel Tarcísio Frizoni ⁽¹⁾ (emanuel.frizoni@yahoo.com.br)

Víctor Augusto Lima de Faria ⁽¹⁾ (victorfariaeng@outlook.com)

⁽¹⁾ Universidade Federal de São João Del Rei (UFSJ) - DEMEP - Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João del-Rei, Minas Gerais.

RESUMO: O processo de soldagem é muito utilizado em diversos setores industriais e é importante pois influencia diretamente no produto final, conferindo performance e agregando valor. É considerado um dos mais importantes processos de fabricação. Com intuito de controlar a qualidade do equipamento, são realizados ensaios podendo ser destrutivos ou não destrutivos. O presente trabalho apresenta a aplicação dos ensaios não destrutivos, estes que não promovem a inutilização do material ensaiado, e traz um estudo de caso onde foi aplicado o EVS (Ensaio Visual de Solda) em uma peça fabricada em uma caldeiraria, utilizando do procedimento interno de inspeção visual de solda. Embora seja considerado simples, o EVS exige qualificação por parte do inspetor e sua realização confere ao produto final qualidade e segurança. Para sua execução foi necessário portar-se de instrumentos de medição calibrados, boa iluminação e superfície ensaiada isenta de sujeira. Após a inspeção realizada, as descontinuidades encontradas foram corrigidas para que o equipamento prosseguisse sua linha de fabricação. Com o término e liberação do equipamento, emitiu-se de um relatório de inspeção de solda assinado pelo inspetor e coordenador do setor responsável.

PALAVRAS-CHAVE: Soldagem, EVS, Inspeção, Juntas Soldadas.



Os autores são os únicos detentores dos direitos autorais.

São João del-Rei, Minas Gerais, Brasil

25-29 de setembro de 2023

[B.L. Resende](#), [C.M. Vale](#) & [R.J. Silva](#) (Organização & Edição)

1. INTRODUÇÃO

O processo de soldagem é de extrema importância na indústria em geral e sua execução de maneira correta é essencial, pois garante o não comprometimento de estruturas e equipamentos metálicos, assegurando assim maior confiabilidade aos projetos executados, evitando falhas e até mesmo acidentes envolvendo vítimas.

A Fundação Brasileira de Tecnologia da Soldagem – FBTS (2013, p.9) cita a soldagem como um processo de fabricação amplamente utilizado em diversos setores industriais desempenhando, na maioria das vezes, um papel significativo no custo e na performance do produto.

A fim de garantir a qualidade das juntas soldadas em um determinado processo, devem ser aplicados ensaios não destrutivos e destrutivos que visam determinar a adequação ou não de um elemento soldado às exigências normativas que regem tais ensaios.

Os ensaios não destrutivos (END) são ensaios que não promovem a inutilização do material a ser ensaiado, e possuem como finalidade, detectar e avaliar as discontinuidades que foram introduzidas nos materiais através dos processos de fabricação, sem alterar qualquer de suas propriedades sejam ela química, física ou mecânica (ANA LOPEZ, 2018).

Portanto, o objetivo deste trabalho é apresentar o estudo de caso realizado em uma empresa de caldeiraria apresentando a realização de um ensaio visual de solda em uma peça pertencente a um chute, equipamento aplicado em mineração. Para atingir este objetivo, serão apresentados a definição do processo de soldagem, das falhas ocorrentes em juntas soldadas e os tipos de ensaios não destrutivos, no tópico de referencial teórico. Em materiais e métodos, serão apresentados os processos para realização do ensaio, instrumentos aplicáveis, dados coletados, a execução e as correções efetuadas após análise. Ao final, os resultados obtidos com a aplicação do ensaio visual.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. O processo de soldagem

Segundo Modenesi, Marques e Santos (2012, p. 7) o processo 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.

Esse processo é comumente descrito como a união de dois ou mais metais através de um arco elétrico ou por uma fonte de calor. O processo é denominado soldagem e o resultado final é

tido como solda. Existem vários processos de soldagem e sua aplicação depende de fatores que melhor condicionam a escolha do método a ser utilizado. Para a escolha do processo ideal a ser aplicado, deve levar-se em consideração algumas variáveis como tipo de material base, tipo de aporte de energia, função da peça soldada, sequência de soldagem e tipo de fabricação.

2.2. Falhas em juntas soldadas

Os materiais quando soldados podem apresentar falhas como trincas, variações nas propriedades do material e inclusões que podem afetar a resistência e até mesmo comprometer a estrutura. Essas falhas são classificadas como descontinuidades e defeitos.

Descontinuidades são imperfeições que não interferem no funcionamento de um equipamento, como vazios internos formados na estrutura do material, decorrentes do processo de fundição (ZOLIN, 2011).

Segundo Zolin (2011, p. 15), defeitos são quando os vazios internos citados anteriormente, não se restringem à estrutura interna e afloram para a superfície, por exemplo, criando um ponto de vazamento. Um defeito é uma falha em algo que é essencial para o funcionamento de um equipamento, diferentemente da descontinuidade.

A fim de detectar essas falhas, evitar acidentes e o comprometimento em estruturas e equipamentos, são realizados ensaios mecânicos, destrutivos ou não, e analisados os resultados conforme normas e exigências dos projetos em estudo.

2.3. Ensaios não destrutivos - END

Para garantir a qualidade e confiabilidade de um equipamento, peças e demais elementos soldados é essencial que seja realizada a análise da junta soldada através dos ensaios mecânicos. Estes ensaios podem ser destrutivos ou não destrutivos. Neste tópico, será tratado sobre os ensaios não destrutivos, ou seja, aqueles que não afetam a estrutura do elemento em análise.

2.3.1. Ensaio por inspeção visual

O ensaio por inspeção visual consiste em uma técnica simples na qual utiliza basicamente os olhos como instrumento de medição. Apesar da simplicidade, é possível detectar falhas na superfície, distorções na estrutura inspecionada e também avaliar a qualidade do acabamento

obtido no processo de soldagem do elemento. Sua simplicidade operacional e baixo custo de aplicação são vantagens desse tipo de ensaio não destrutivo.

Por utilizar a visão como instrumento, é necessário também qualificação, treinamento, conhecimento e experiência por parte do inspetor para que se obtenham dados significativos. A boa iluminação do ambiente de inspeção se faz necessária para melhor análise da junta soldada. Pelo fato de os olhos humanos não apresentarem boa precisão, alguns instrumentos podem auxiliar nas inspeções sendo eles lupas, gabaritos, comparadores, microscópios, projetores óticos e micro câmeras com sistema de iluminação.

2.3.2. Ensaio por líquido penetrante (LP)

Segundo Zolin (2011, p. 19) aplica-se, após a limpeza do material, uma camada de líquido penetrante na superfície a ser ensaiada, remove-se o excesso e, com o revelador, é possível identificar a região em que há penetração do líquido, indicando fissura no material.

2.3.3. Ensaios por partículas magnéticas

O princípio do ensaio se baseia no fato de que, quando o material ou peça sob teste é magnetizada, um campo magnético homogêneo cria linhas de fluxos magnéticos que são distorcidas quando encontram uma descontinuidade geralmente em uma direção transversal à direção do campo magnético (SAMPAIO, 2009).

2.3.4. Ensaio de ultrassom

A inspeção ultrassônica é um método não destrutivo em que um feixe de ondas sonoras de alta frequência é introduzido em materiais para a detecção de descontinuidades internas no material. As ondas sonoras viajam através do material com alguma perda de energia e são refletidas em interfaces. O feixe refletido é exibido e depois analisado para definir a presença e localização de descontinuidades (ANDREUCCI, 2006).

2.3.5. Ensaio radiográfico

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- δ (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 (CASTRO, 2017).

2.3.6. Ensaio por emissão acústica

O método é baseado na detecção de ondas acústicas emitidas por um material quando sujeito a uma força ou deformação que revela a qualidade desse material. Qualquer falha (trinca, descontinuidade ou defeito) altera o perfil de propagação da onda acústica. Esse fato localiza a imperfeição, (ZOLIN, 2011).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Contexto

O processo interno de fabricação de um equipamento de caldeiraria divide-se em preparação, solda, acabamento e pintura. Para que uma peça chegue à fase final de pintura é necessário que seja realizada a inspeção de suas juntas soldadas, atendendo os requisitos normativos e do cliente.

Diante disso, um dos ensaios não destrutivos aplicados é o visual. Trata-se de um ensaio simples se comparado aos demais, mas que exige qualificação e certificação do profissional que o realiza. Exige-se que o inspetor que realizará o ensaio seja qualificado pelo SNQC-ABENDI como EV-N2-S, conforme norma ABENDI NA-01 ou pelo SNQC-IS-FBTS como IS-N1 ou IS-N2, conforme norma NBR-14842. Sendo assim, foi feito o acompanhamento de uma inspeção de solda realizada em uma peça de marcação OF2204 019B DF 0140 pertencente a um chute.

Os chutes são equipamentos que possuem a finalidade de receber e direcionar o material transportado seja para outro equipamento ou pilha de materiais. São equipamentos importantes na alimentação e descarga de materiais a granel. A Figura 1 representa o modelo 3D do chute do qual foi realizada a inspeção visual de solda em um de seus módulos.

O processo de soldagem aplicado a esse equipamento foi o de arame tubular, também conhecido como FCAW, que utiliza de um eletrodo metálico tubular que contém fluxo de soldagem

em seu interior para a proteção do arco e do cordão de solda. Essa proteção pode também ser suplementada por uma fonte gasosa externa.



FIGURA 1. Modelo 3D de chute. **Fonte:** Autor (2023).

3.2. Método de análise das juntas soldadas

Para que uma inspeção de solda seja realizada e atenda aos requisitos normativos e do cliente, utiliza-se de um procedimento interno da empresa que descreve as análises a serem feitas e métodos a aplicar na verificação. Neste estudo foi aplicado o PO TEC 28.

Para este estudo de caso e conforme procedimento a ser seguido, aplicou-se o método direto de inspeção, que consiste no ensaio visual executado pela visão direta à área sob ensaio, utilizando apenas de fonte externa de iluminação, espelhos ou lupas e sem demais auxílios óticos. É orientado que a vista do inspetor esteja a no máximo 600 mm e dispondo de um ângulo superior a 30° com relação à superfície que está em análise.

3.3. Condições das superfícies a serem inspecionadas

Para que seja possível a realização do ensaio é imprescindível que as superfícies a serem ensaiadas e uma faixa de 25 mm para cada lado estejam isentas de graxa, óleo, tinta, escórias, respingos e abertura de arco para que não interfira na obtenção dos resultados.

As superfícies dos biséis e das juntas soldadas são preparadas por esmerilhamento ou escovamento, à medida que necessário. O padrão de limpeza mínimo requerido da superfície é relacionado com o estado inicial classificado pela norma ISO 8501.1 e assim definido o meio de preparação da mesma.

3.4. Iluminação

Por se tratar de um EVS, um dos elementos mais importantes para a ocorrência da inspeção é a boa iluminação da superfície soldada, esta que pode ser natural ou artificial adotando o auxílio de lâmpadas ou lanternas. A luminosidade mínima aplicada ao ensaio visual direto na superfície em análise deve ser de 1000 lux.

3.5. Instrumentos

Na realização do ensaio dimensional de juntas soldadas podem ser utilizados alguns instrumentos, estes que devem estar calibrados para conferirem precisão à inspeção realizada. Neste estudo de caso foram aplicados o calibre de múltiplas funções - padrão FBTS e régua.

Na Figura 2 tem-se o calibre de múltiplas funções e régua utilizados no EVS.

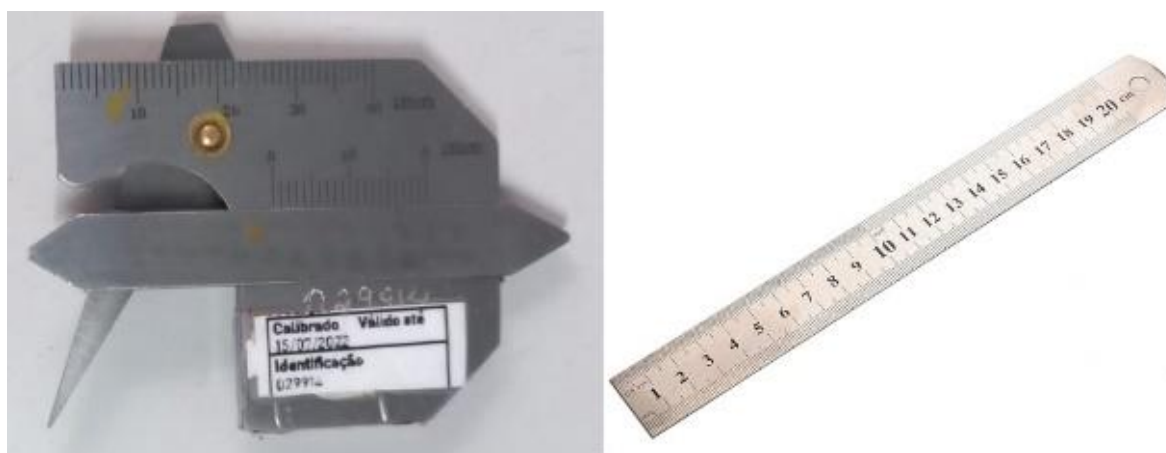


FIGURA 2. Instrumentos utilizados na realização do EVS. **Fonte:** Autor (2023).

3.6. Processo de realização do ensaio

Após verificar se a preparação e limpeza da superfície é adequada, se a condição de iluminamento é satisfatória e com os instrumentos calibrados, inicia-se a execução do ensaio visual de solda. A inspeção visual e dimensional da junta soldada é efetuada observando a existência de

descontinuidades inaceitáveis e verificando as dimensões e tolerâncias estabelecidas conforme documento de referência. Por procedimento, após a identificação de alguma irregularidade, é importante marcar com giz de cera ou marcador industrial de modo que fique visível e possa ser identificado para que as correções venham a ser realizadas.

3.6.1. Execução do ensaio

No desenho de detalhamento da peça inspecionada é representado através de simbologia de solda, informações de como a solda deve ser efetuada e que posteriormente é avaliada na inspeção.

Portanto, para realização da inspeção, faz-se necessário averiguar os parâmetros de solda contidos no desenho. Na Figura 3 tem-se a marcação da peça, de modo a rastrear e demarcar para posterior montagem. Na Figura 4, observa-se a simbologia de solda utilizada na peça.



FIGURA 3. Marcação da peça inspecionada. **Fonte:** Autor (2023).

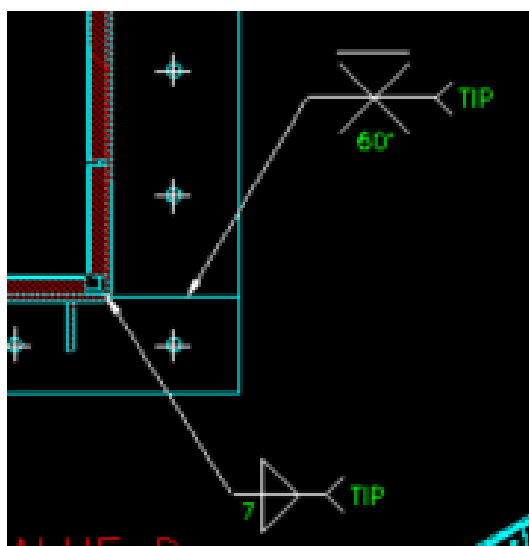


FIGURA 4. Simbologia de solda aplicada no equipamento. **Fonte:** Autor (2023).

A simbologia representada para o equipamento diz que na região apresentada será adotada dois tipos de processo de soldagem, onde há a união do costado, é solicitada uma solda com altura de 7 mm em ambos os lados. No flange é solicitado uma preparação prévia, onde é preciso realizar um chanfro em 60° no lado posterior e oposto à indicação de solda. Importante atentar que no lado indicado, não há necessidade de acabamento após o processo de soldagem, porém, ao lado oposto à indicação é preciso acabamento. Em ambas indicações de solda, essas configurações de soldagem são típicas, ou seja, em todo o equipamento em que essa configuração de montagem surgir, será aplicado a mesma simbologia de solda.

Na Figura 5 tem-se a peça sob análise.



FIGURA 5. Peça inspecionada. **Fonte:** Autor (2023).

Durante a inspeção foram encontradas algumas irregularidades, indicações e descontinuidades, sendo elas motivo de reprovação e correção para seguimento na linha de fabricação. Foram encontradas:

- a) Abertura de arco: é uma imperfeição que ocorre na superfície do metal de base decorrente da abertura de arco elétrico com inclusão de metal de solda.
- b) Mordedura: são descontinuidades que ocorrem entre o metal base e o cordão de solda, em forma de depressão, formando um entalhe no pé do cordão, decorrentes da velocidade de deslocamento da soldagem, alta temperatura e ângulo de ataque.
- c) Redução localizada no metal de base: esmerilhamento excessivo do metal base.

- d) Reforço excessivo: ocorre quando há o excesso de metal de solda na zona de fusão, identificado na face de solda. Itens verificados na tabela de tolerância.
- e) Porosidade vermiforme: conjuntos de poros de formato alongado ou em forma de espinha de peixe presentes na zona fundida.

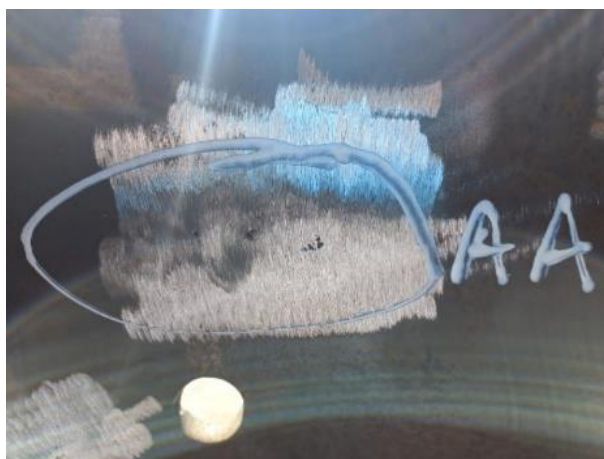


FIGURA 6. Descontinuidade - Abertura de arco. **Fonte:** Autor (2023).



FIGURA 7. Descontinuidade – Mordedura. **Fonte:** Autor (2023).



FIGURA 8. Redução localizada no metal de base. **Fonte:** Autor (2023).



FIGURA 9. Excesso de metal de solda na face de solda. **Fonte:** Autor (2023).



FIGURA 10. Poros de formato alongado. **Fonte:** Autor (2023).

3.6.2. Critérios de aceitação

Para avaliação da qualidade da solda, aprovação ou reprovação, é utilizado pelo inspetor critérios de aceitação regidos por normas de soldagem. Por se tratar de uma estrutura metálica, neste caso foi aplicado o critério de aceitação para estruturas conforme norma AWS D1.1.

3.6.3. Correção das descontinuidades

Aplicado os critérios de aceitação na inspeção realizada, as descontinuidades encontradas foram motivos de reprovação da peça para prosseguimento na linha de fabricação, portanto, fez-se necessário a correção das mesmas.

A Figura 11 retrata a correção realizada na abertura de arco, na qual foi efetuado através do esmerilhamento a remoção da indicação. Posteriormente o metal base foi recomposto por metal de solda e executado novamente o acabamento por esmerilhamento.



FIGURA 11. Correção da abertura de arco. **Fonte:** Autor (2023).

Na Figura 12, tem-se a correção da mordedura que foi realizado um preenchimento com solda e o acabamento por esmerilhamento.



FIGURA 12. Correção da mordedura. **Fonte:** Autor (2023).

A Figura 13 apresenta o preenchimento de solda seguido do acabamento da superfície por meio do esmerilhamento, a fim de corrigir a redução localizada do metal de base.

A Figura 14 apresenta o resultado da retirada de excesso de material depositado no metal de solda, eliminando o reforço excessivo.

Na Figura 15, tem-se a correção da porosidade vermiforme através do esmerilhamento e remoção dos poros de formato alongado.



FIGURA 13. Correção da redução localizada. **Fonte:** Autor (2023).



FIGURA 14. Remoção do reforço excessivo. **Fonte:** Autor (2023).



FIGURA 15. Correção da porosidade vermiforme. **Fonte:** Autor (2023).

4. RESULTADOS

Para análise de aprovação ou reprovação da peça no EVS, aplicou-se os critérios de aceitação para estruturas metálicas, conforme norma AWS D1.1. Baseado nesses parâmetros, o inspetor reprovou inicialmente a peça pois foram identificadas irregularidades e descontinuidades que

comprometiam o prosseguimento da linha de fabricação do ativo. O mesmo orientou que tais anomalias fossem corrigidas para uma posterior inspeção.

Após realizadas as devidas correções nas descontinuidades encontradas e assim atendendo os critérios de aceitação para estrutura metálica conforme norma e exigências do cliente, a peça foi liberada para que o processo de fabricação seguisse conforme planejado.

Depois da liberação da peça por parte do inspetor, foi emitido um relatório de inspeção visual de solda com status de aprovado para o ativo analisado no estudo de caso. Nesse relatório é possível identificar a descrição do equipamento, desenho de detalhamento a qual pertence, tipo de solda e junta, metal de adição e processo de soldagem aplicado, condições da superfície, iluminação e temperatura e referências normativas adotadas para a realização do ensaio, além das assinaturas do inspetor e coordenador do setor de qualidade.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo principal apresentar os ensaios não destrutivos de soldagem com ênfase no ensaio visual de solda – EVS, aplicado à uma peça pertencente a um chute de uma planta de beneficiamento de minério.

A aplicação de ensaio não destrutivo se faz necessário pois confere ao produto final, qualidade e segurança, além de não comprometer a aplicabilidade do equipamento. Sua realização e procedimento bem elaborados faz com que a quantidade de reparos de solda seja menor, assim como a aplicação de outros ensaios não destrutivos, o que consequentemente reduz custos na obra.

É importante ressaltar que a aplicação deste ensaio não elimina a necessidade de outros ensaios, visto que, o mesmo avalia as condições superficiais da peça. Outros END's como líquido penetrante, ultrassom, radiográfico e emissão acústica podem ser aplicados e até mesmo exigidos por clientes conforme PIT - Plano de Inspeção e Teste. Aplicar o ensaio correto na inspeção pode trazer dados mais consistentes e confiáveis para a análise e posteriormente um melhor relatório.

Mesmo que simples, o ensaio visual de solda exige do inspetor qualificação, experiência, conhecimento e treinamento, para que assim seja possível obter resultados satisfatórios, garantindo a qualidade do equipamento fabricado. Além do conhecimento técnico, é imprescindível a utilização de instrumentos calibrados, normas regulamentadoras e boas condições superficiais, de temperatura e iluminação para realização da inspeção.

6. DIREITOS AUTORAIS.

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo das informações contidas neste artigo.

7. REFERÊNCIAS

ANDREUCCI, R. Ensaio não destrutivo por ultrassom. São Paulo, Associação Brasileira de ensaios não destrutivos e inspeção – ABENDI. Edição de Maio / 2014.

ANDREUCCI, A. Ensaio por ultrassom. Edição Jun./2018. São Paulo: 2018.

CASTRO, Nara L.B. Ensaio para determinação de resistência em juntas soldadas. Belo Horizonte: Revista Constituindo, vol. 9, n. 02, p. 57-67, 2017.

LOPEZ, A.; BACELAR, R.; PIRES, I.; SANTOS, T. G.; SOUSA, J. P.; QUINTINO, L. Non-destructive testing application of radiography and ultrasound for wireand arc additive manufacturing. Additive Manufacturing 21 (2018).

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.

OKUMURA, T.; TANIGUCHI, C., 1982, “Engenharia de soldagem e aplicações”, Vol. 1, Rio de Janeiro, Brasil, pp. 409-436.

SAMPAIO, M. V. C. Aplicação de inspeção não intrusiva em equipamentos do sistema de dessulfurização de gás natural da plataforma de pampo. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS.

SANTOS, Milton dos. Apostila de partículas magnéticas. Petrobras, Curso de Formação de Engenheiros de Equipamentos Inspeção, 2008.

SILVA, I. F.; VALENÇA, S. L.; VALENÇA, G. O. Desenvolvimento de procedimento prático para ensaio não destrutivo por ultrassom na raiz da solda. Curitiba: Revista Brazilian Journal of Development, vol. 10, n. 10, p. 79210-79220, 2020.

ZOLIN, Ivan. Ensaio mecânicos e análises de falhas. Santa Maria, RS.: Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, 2011.

NON-DESTRUCTIVE WELDING TESTING: A PRACTICAL CASE OF APPLICATION OF VISUAL TESTING IN BOILER PARTS

Alex Sander Chaves da Silva et al.

(achaves@ufs.ju.br)

Federal University of São João del-Rei

ABSTRACT: *The welding process is widely used in various industrial sectors and is important as it directly influences the final product, providing performance and adding value. It is considered one of the most important manufacturing processes. In order to control the quality of the equipment, tests are carried out, which may be destructive or non-destructive. This work presents the application of non-destructive tests, which do not render the tested material unusable, and presents a case study where EVS (Visual Welding Test) was applied to a part manufactured in a boiler shop, using the internal procedure visual inspection of welding. Although it is considered simple, the EVS requires qualification on the part of the inspector and its completion provides the product with final quality and safety. To carry it out, it was necessary to have calibrated measuring instruments, good lighting and a tested surface free from dirt. After the inspection carried out, the discontinuities found were corrected so that the equipment was harmed in its manufacturing line. With the completion and release of the equipment, a welding inspection report was issued and received by the inspector and coordinator of the responsible sector.*

KEYWORDS: *Welding, EVS, Inspection, Welded Joints.*