

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS-MG

ENGENHARIA MECÂNICA

FABRICIO LELLO DE CASTRO SILVA

**INSPEÇÃO POR ULTRA-SOM PARA VERIFICAR A QUALIDADE DE UNIÃO DE
SOLDA**

Varginha - MG

2011

FEPESMIG

FABRICIO LELLO DE CASTRO SILVA

**INSPEÇÃO POR ULTRA-SOM PARA VERIFICAR A QUALIDADE DE UNIÃO DE
SOLDA**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação do Prof. Ms. Alexandre de Oliveira Lopes, Prof. Ms. Luiz Carlos Vieira Guedes.

Varginha - MG

FEDECM

2011

FABRICIO LELLO DE CASTRO SILVA

**TÉCNICA POR ULTRA-SOM PARA VERIFICAR A QUALIDADE DE UNIÃO DE
SOLDA**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em: / /



Prof. Ms. Alexandre Oliveira Lopes



Prof. Ms. Luiz Carlos Vieira Guedes

OBS.:

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores pelos ensinamentos passados, pela amizade, pela compreensão e pela brilhante orientação.

A todos que contribuíram direta e indiretamente para a realização deste projeto, aos meus amigos e a todas as pessoas que ajudaram a amadurecer a idéia do trabalho e me forneceram literatura de grande enriquecimento a ele.

Aos amigos da sala, agradeço pelo companheirismo, pela amizade verdadeira, por todos os momentos que passamos juntos; pelas experiências trocas; pelos sonhos compartilhados, e por realmente fazerem parte da minha vida.

“Humildade é única base sólida de todas as virtudes”.

Confúcio.

Grupo Educacional UNIS

RESUMO

Neste trabalho foram analisadas as técnicas de ultra-som na verificação da qualidade das uniões soldadas. As soldas realizadas para efetuar a união da junta foram através dos processos GTAW e SMAW por um soldador com qualificação e outro sem qualificação, sendo que os parâmetros aplicados, para ambos os soldadores, foram iguais. O processo GTAW foi utilizado para realizar a solda de raiz e o processo SMAW, para efetuar o enchimento e acabamento do chanfro. A geometria do chanfro escolhida foi em “V”. O ensaio de ultra-som foi utilizado para a verificação da qualidade das juntas soldadas.

Procedimentos padrões foram utilizados durante os ensaios. Os resultados mostraram a eficácia do procedimento para o controle de qualidade dos cordões. Foram encontrados defeitos de falta de penetração no passe de raiz nas soldas realizadas pelo soldador não qualificado.

Palavras-chaves: ultra-som; inspeção de solda; descontinuidades de solda; processo eletrodo revestido; processo TIG.

ABSTRACT

In this work were analyzed the technics of ultrasound for verification the quality of welded unions. The Welds performed for to make the union of the join have been through the processes SMAW and GTAW by a welder qualified and another unqualified, being that the parameters applied for both welders, were equal. The GTAW process was used to perform the weld root, and the SMAW process to make the filling and finishing of the chamfer. The chamfer geometry chosen for was in "V". The ultrasound essay was used for verification the quality of welded joints. Standards procedures were used during the essays. The results showed the effectiveness of the procedure for quality control of the cords. Were found defects lack of penetration in the root pass in the welds made by the welder unqualified.

Keywords: *ultrasound; weld inspection; weld discontinuities; coated electrode process; TIG process.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Esquema de equipamentos de soldagem com eletrodos revestidos.....	16
Figura 2.2 – Esquema de uma soldagem com eletrodo revestido.....	16
Figura 2.3 – Esquema de Soldagem TIG. (a) Detalhe da região do arco (b) Equipamento básico para o processo.....	18
Figura 2.4 – Macrografia da falta de fusão na face do chanfro em “V”.....	22
Figura 2.5 – Esquema da falta de penetração.....	22
Figura 2.6 – Esquema de Mordedura.	23
Figura 2.7 – Esquema dos tipos de distribuição de porosidade:(a) Distribuída, (b) Agrupada, (c) Alinhada.	24
Figura 2.8 - Inclusão de Escória.....	25
Figura 2.9 – Esquema do mecanismo de formação da trinca de solidificação.....	25
Figura 2.10 – Esquema de inspeção de material por ultra-som.....	27
Figura 2.11 – Esquema da técnica do pulso-eco.....	28
Figura 2.12 – Esquema da técnica de transparência.....	29
Figura 2.13 – Esquema mostrando tipos de cabeçote: (a) Transdutor Reto; (b) Transdutor Duplo-Cristal e (c) Transdutor Angular.....	31
Figura 2.14 – Esquema mostrando os blocos de calibração V1 e V2.....	32
Figura 3.1 – Fonte de soldagem.....	34
Figura 3.2 – Esmerilhadeira Bosch.....	35
Figura 3.3 – Foto da tocha com bico cerâmico e bico de tungstênio.....	35
Figura 3.4 – Mascara para soldagem speedglas.....	35
Figura 3.5 – Escova de aço para limpeza da solda.....	36
Figura 3.6 – Escova rotativa para limpeza.....	36
Figura 3.7 – Picador para retirada de escória.....	36
Figura 3.8 – Aparelho de ultra-som.....	37
Figura 3.9 – Foto dos cabeçotes.....	37
Figura 3.10 – Blocos de Calibrações.....	37
Figura 3.11 – Disco de corte Norton.....	38
Figura 3.12 – Esquema indicado a dimensão do corpo de prova.....	39
Figura 3.13 – Corpos de prova cachorro fixado aguardando soldagem.....	39
Figura 3.14 – Preparação do eletrodo de tungstênio.....	40

Figura 3.15 – CP 01 com passe de raiz preparado pelo soldador qualificado.....	41
Figura 3.16 – CP 02 com passe de raiz preparado pelo soldador sem qualificação.....	41
Figura 3.17 – Limpeza com escova manual de aço entre passes.....	42
Figura 3.18 – Limpeza com escova rotativa.....	42
Figura 3.19 – Desenho e detalhe dimensional da solda.....	43
Figura 3.20 – Esquema de traçagem da curva de referência para transdutores angulares.....	45
Figura 3.21 – Representação da curva de referência para transdutores angulares.....	45
Figura 3.22 – Aplicação do acoplante no corpo de prova.....	45
Figura 3.23 – Realizando a inspeção no corpo de prova.....	46
Figura 4.1 – CP 01 depois de escovado.....	47
Figura 4.2 – CP 02 depois de escovado.....	47
Figura 4.3 – Principais ecos de falhas encontrados em soldas de topo.....	48
Figura 4.4 – Diagrama para o ângulo de 60° aplicado no CP01.....	49
Figura 4.5 – Diagrama para o ângulo de 70° aplicado no CP01.....	49
Figura 4.6 – Croqui do corpo de prova aprovado.....	49
Figura 4.7 – Falta de penetração na raiz identificado no aparelho de ultra-som.....	50
Figura 4.8 – Falta de fusão na raiz identificado no aparelho de ultra-som.....	51
Figura 4.9 – Diagrama para o ângulo de 60° aplicado no CP02.....	52
Figura 4.10 – Diagrama para o ângulo de 70° aplicado no CP02.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Comparação da descontinuidade com processos – Brasil – 1997.....	20
Tabela 2.2 – Comparação da descontinuidade com método de inspeção – Brasil – 1997.....	21
Tabela 2.3 – Principais modelos de equipamentos para inspeção de soldas – 1996.....	30

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	Processo	14
2.1.1	Soldagem com Eletrodo Revestido – SMAW.....	15
2.1.1.1	Vantagens e Limitações	17
2.1.2	Soldagem TIG (Tungsten Inert Gas) – GTAW.....	17
2.1.2.1	Vantagens e Limitações	18
2.2	Metalurgia	19
2.2.1	Soldabilidade.....	19
2.2.2	Descontinuidade.....	19
2.3	Ensaio Não Destrutivos	25
2.3.1	Ensaio de Ultra-som.....	26
2.3.2	Inspeção de Soldas Através do Método Ultra-sônico	28
2.3.2.1	Técnicas de Inspeção	28
2.3.2.2	Aparelhos	29
2.3.2.3	Transdutores.....	30
2.3.2.4	Calibração do Aparelho	31
2.3.2.5	Preparação da Superfície.....	32
2.3.2.6	Acoplante	33
3	METODOLOGIA E MÉTODOS	34
3.1	Materiais Utilizados	34
3.1.1	Equipamentos e Ferramentas	34
3.1.2	Material de Consumo	38
3.2	Metodologia	39
3.2.1	Realizando a Soldagem.....	40
3.2.2	Ensaio de Ultra-som.....	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
5	CONCLUSÃO	53
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
	ANEXO	56

1 INTRODUÇÃO

A soldagem é um dos processos de união de materiais mais utilizado nas indústrias e seu aproveitamento vai desde a soldagem de estruturas simples até a soldagem com alto grau de responsabilidade.

Dentre os processos existentes enfatizam-se os processos GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), conhecido no Brasil como TIG (Tungsten Inert Gas) e o processo SMAW (Shield Metal Arc Welding) como eletrodo revestido.

Em relação à soldagem realizada neste trabalho, podemos dizer que foram utilizados dois processos bastante aplicados em indústrias. Em relação ao processo eletrodo revestido, é possível dizer que este possibilita uma grande variedade em termos de ligas soldáveis e faixas de espessura aplicáveis, assim como, a simplicidade e o baixo custo relativo do processo em si e dos equipamentos necessários.

Em relação ao nível da qualidade das soldas realizadas tanto no processo TIG, como no processo de eletrodo revestido, dependem bastante do soldador, exige do profissional extremamente habilidade e concentração, que só são alcançados com muito treino e execução de várias soldas. Assim, a formação de mão-de-obra qualificada se dá em longo prazo, tornando muito caro. Já que, um bom soldador trabalhando com equipamentos e consumíveis adequados não necessariamente assegura uma produção de solda de qualidade, haja vista que, se o soldador não estiver comprometido e empenhado na realização da tarefa que esteja a executar, o serviço certamente deverá ser refeito, ou seja, ocorrerá um retrabalho caso não atenda as necessidades do requisitante, além do custo do serviço aumentar consideravelmente.

Para soldagem de juntas chanfradas recomenda-se, como passe de raiz, a utilização do processo TIG e como passes de enchimento e acabamento a utilização do processo eletrodo revestido. Ambos os processos foram selecionados devido a sua ampla aplicabilidade industriais e por apresentar soldas com ótimo acabamento e excelente qualidade, juntos aos processos, a versatilidade e a simplicidade quando comparados a outros processos.

Considerando os ensaios não destrutivos (END), a ultra-som terá um papel de importância neste trabalho. Através deste método será analisada a qualidade de uniões soldadas referentes aos dois corpos de prova. Um dos corpos será realizado por um soldador qualificado em eletrodo revestido e TIG, e o outro sem qualquer qualificação.

Os END constituem-se numa das principais ferramentas de controle da qualidade de materiais e produtos, contribuindo para garantir a qualidade, reduzir os custos e aumentar a confiabilidade da inspeção (FILHO e SOARES, 2006, P. 23-24).

Segundo Andreucci (2011), o ensaio por ultra-som é uma ferramenta indispensável para garantia da qualidade de peças com geometria complexa de juntas soldadas.

O ensaio não destrutivo utilizado foi escolhido devido apresentar grande sensibilidade na detectabilidade de pequenas descontinuidades internas, dispensarem processos intermediários e principalmente por, facilitar a localização e interpretação das descontinuidades encontradas.

O ensaio ultra-sônico foi realizado por um inspetor com qualificação nível 2 e durante o ensaio foram detectados defeitos em um dos corpos de prova. Onde a causa provavelmente está atribuída a diversos fatores que serão descritos ao longo do trabalho.

Dentre as ínfimas aplicações do método de ultra-som, destaca-se: as aplicações em soldas para o processo de fabricação, montagem, inspeção em serviços e manutenção.

Dessa forma, a importância desse estudo, consiste não apenas em contribuir para o meio acadêmico e científico, mas também destaca a necessidade de se discutir a importância do ensaio de ultra-som na avaliação de uniões soldadas.

Neste trabalho, o objetivo é inspecionar uniões soldadas através de métodos de ultra-som, onde será avaliada a técnica de ultra-som como controle de qualidade da junta soldada (objetivo principal), a qualificação dos soldadores, e também estabelecer um procedimento para realização de uma inspeção.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Processo

Segundo Oliveira (2003) os processos de soldagem são divididos em dois grandes grupos: por fusão e sob pressão.

Por fusão: A energia é aplicada para produzir calor capaz de fundir o material de base. Diz-se nesse caso que a solubilização ocorre na fase líquida que caracteriza o processo de soldagem por fusão.

De acordo com Oliveira (2003) os principais processos de soldagem por fusão são:

- a) Soldagem à chama (fonte de calor; química): Oxi-acetilênica, Oxi-GLP, Oxi-hídrida. A fusão origina-se do calor gerado pela queima de um gás, com o material de adição introduzido separadamente. É atualmente o processo mais rudimentar de soldagem;
- b) Soldagem a arco elétrico (fonte de calor: elétrica): Eletrodo revestido, eletrodo tubular, fio contínuo (MIG-MAG), eletrodo permanente (TIG). A fusão origina-se da ação direta e localizada de um arco voltaico;
- c) Em banho de escória;
- d) Aluminotérmica;
- e) Raio laser;
- f) Feixe eletrônico.

Sob pressão: Energia é aplicada para gerar uma tensão no material de base, capaz de produzir a solubilização na fase sólida, caracterizando a soldagem por pressão. Uma pressão sobre as partes a unir é exercida após o aquecimento para garantir o total interfaceamento entre as partes pela conformação de suas rugosidades. De forma similar, as fontes de energia podem ser diversas, caracterizando subdivisões da soldagem por pressão (OLIVEIRA, 2003):

- a) Por resistência (ponto, ressalto, roletes e topo);
- b) Por faiscamento;
- c) Por indução;

- d) Por atrito;
- e) Por ultra-som.

2.1.1 Soldagem com Eletrodo Revestido – SMAW

O processo de soldagem por arco elétrico com eletrodo revestido (Shielded Metal Arc Welding - SMAW) um processo no qual a união dos metais é conseguida pelo aquecimento destes com um arco estabelecido entre um eletrodo especial revestido e a peça. (MARQUES, MODENESI e BRACARENSE, 2005).

Segundo Oliveira (2003), o arco elétrico é responsável pela fusão simultânea do eletrodo e a peça. A mudança do metal fundido sai do eletrodo em sentido a peça, formando uma poça fundida, a qual é protegida da atmosfera (O_2 e N_2) pelos gases provenientes da queima do revestimento do eletrodo. Além disso, o metal colocado e as gotas de metal fundido que são ejetadas, recebem outra proteção, provenientes do banho de escória.

A limpeza da escória é indispensável, principalmente entre passes de solda. Através de um picador a escória sofre fratura, daí é retirada com ajuda de uma escova de metal, onde a mesma deverá apresentar composição metálica compatível com a solda realizada, já que assim, podemos impedir a contaminação quando for usada a escova de aço em cobre. É fundamental, que o picador não pode ser usado como martelo, já que, com o impacto de sua ponta aguda pode provocar trincas, ou concentrar tensões no cordão de solda (MACHADO, 1996).

Os equipamentos de um posto de soldagem eletrodo revestido, de modo geral, de um transformador; fonte de energia; gerador; cabos; porta- eletrodo; ferramentas (picadeira e etc.); matérias de segurança (óculos, avental, etc.). (MARQUES, MODENESI e, 2000, P.11).

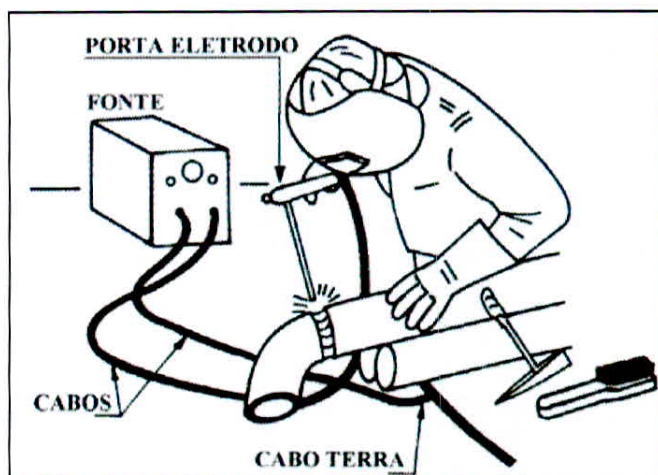


Figura 2.1 – Esquema de equipamentos de soldagem com eletrodos revestidos.
Fonte: Modenesi e Marques, 2000.

De acordo com Coelho (2006) o eletrodo revestido é composto de uma vareta metálica denominada de alma, ver figura 2.2, e recoberta com uma camada de aglomerado chamada de revestimento, onde o mesmo apresenta uma dada composição concedendo propriedades mecânicas, químicas e metalúrgicas na região de soldada. A figura 2.1 apresenta esquema de uma soldagem com eletrodo revestido.

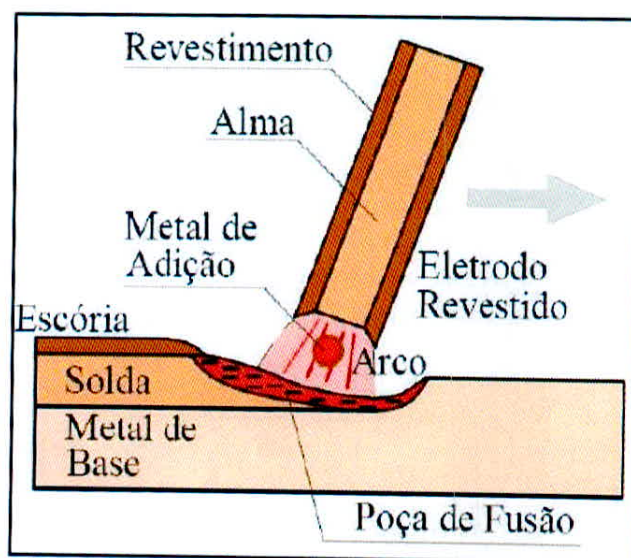


Figura 2.2 – Esquema de uma soldagem com eletrodo revestido.
Fonte: Modenesi e Marques, 2000.

A polaridade interfere na forma; na dimensão da poça de fusão; no tipo de transferência e na estabilidade do arco elétrico. A polaridade, quando inverso “eletrodo positivo (+)” proporciona uma maior penetração, por outro lado, a polaridade direta “eletrodo

negativo (-)” proporciona uma menor penetração. Já quando se tem corrente alternada (+ e -), tanto a penetração como a taxa de fusão são médias, porém possibilita o uso de eletrodos maiores e correntes mais elevadas. (RAMALHO e JUNIOR, 1997).

2.1.1.1 Vantagens e Limitações

Segundo Modenesi e Marques (2000), pode-se citar:

- a) Equipamento simples, portátil e barato
- b) Sem necessidade de fluxos ou gases externos
- c) Pouca sensibilidade à presença de correntes de ar (trabalho no campo)
- d) Processo com bastante variedades em termos de materiais soldáveis;
- e) Facilidade para atingir áreas de acesso restrito;
- f) Difícil aplicação em materiais reativos;
- g) Produtividade relativamente baixa;
- h) Exige limpeza após cada passe.

2.1.2 Soldagem TIG (Tungsten Inert Gas) – GTAW

A soldagem a arco tungstênio com a atmosfera gasosa, ou mais comumente designada como soldagem TIG é o processo de soldagem por fusão a arco elétrico que utiliza o calor gerado pelo arco formado entre o eletrodo de tungstênio, o qual não deve se fundir para evitar defeitos ou descontinuidades no cordão de solda, e a peça que deseja soldar (ALCAN, S/d).

O processo TIG (Tungsten Arc Welding) tem como características implícitas a limpeza, o aspecto visual de excelente qualidade, a utilização em aplicações que não permitam deformações, a grande valorização do aspecto e a integridade da junta soldada. (TREMONTI, RAMALHO e HEUBEL. S/d, P.2).

Segundo Oliveira (2003) TIG é a sigla usada para indicar o processo de soldagem com eletrodo permanente de tungstênio e arco elétrico, usando como proteção um gás inerte, isto é, um gás que não reage com outros materiais, ou uma mistura de gases inertes, que no geral é o argônio ou hélio. Onde esses são responsáveis pela proteção da poça de fusão.

O seu equipamento contém uma fonte de energia (CC e/ou CA), tocha com eletrodo de tungstênio, fonte de gás de proteção (Ar ou He) e um sistema para a abertura do arco. (MODENESI e MARQUES, 2000).

Pode ser usada na forma manual ou mecanizada e é um dos processos de soldagem a arco de melhor controle. Permite fazer soldas de ótima qualidade e excelente acabamento, em juntas de pequena espessura, inferior a 10mm e mais comumente entre 0,2 e 3mm (MODENESI e MARQUES, 2000, P.15).

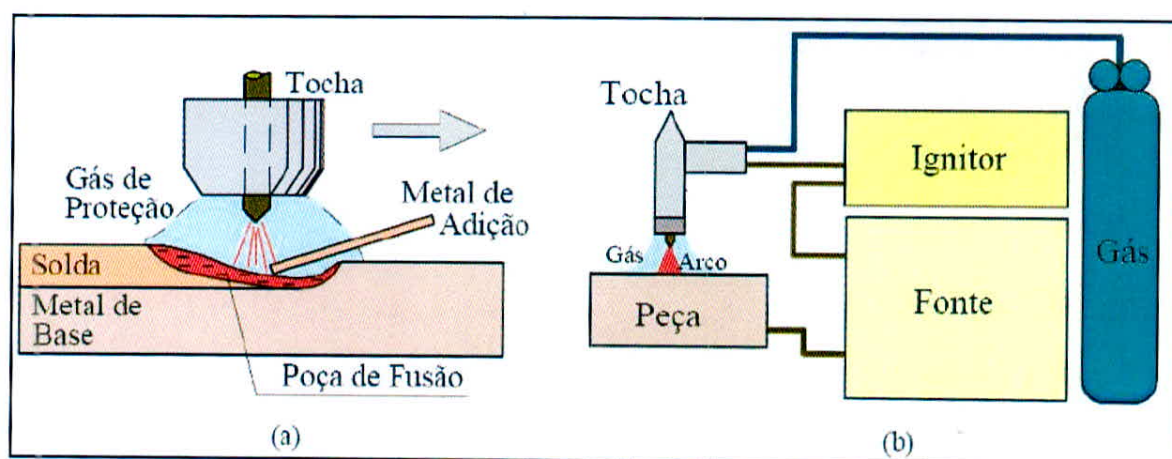


Figura 2.3 – Esquema de Soldagem TIG. (a) Detalhe da região do arco (b) Equipamento básico para o processo TIG. Fonte: MODENESI e MARQUES, 2000.

2.1.2.1 Vantagens e Limitações

Podemos destacar como vantagem a alta qualidade dos cordões de solda, não apresentando escória e respingos e pode ser empregado em todas as posições de soldagem e tipos de junta. Também, o TIG é adequado para unir metais de pequena espessura. Já como desvantagens, podemos mencionar a dificuldade de se utilizar o processo em locais abertos ou descobertos. Outra desvantagem está na baixa produtividade na soldagem de chapas grossas (POEPCKE e BRITO, 1997).

Quando comparamos o processo quanto ao uso do argônio ou hélio, como gás de proteção, surgem vantagens e desvantagens, dependendo da finalidade do trabalho.

O emprego do gás argônio no processo TIG apresenta algumas vantagens, como uma boa estabilidade do arco; baixo consumo do gás; baixas tensões de arco; custo baixo do processo; facilidade na abertura do arco; melhora o efeito de limpeza de óxidos quando usada a corrente alternada. Por ser mais pesado que o ar, o argônio forma uma ótima proteção ao redor da poça de fusão. (POEPCKE e BRITO, 1997).

2.2 Metalurgia

2.2.1 Soldabilidade

De acordo com Fortes (2004) fenômenos metalúrgicos estão associados à soldagem, alguns deles são: Fusão; Solidificação; Transformações no estado sólido; Deformações causadas pelo calor; Tensões de contração. Tais fenômenos podem gerar diversos problemas na junta soldada e como forma de amenizar ou até mesmo de solucionar esses problemas, são necessários alguns princípios metalúrgicos eficazes ao processo de soldagem (FORTES 2004).

A soldabilidade dos aços carbono é relacionada com a temperabilidade, onde o fator determinante é teor de carbono e os elementos de liga. Ou seja, quanto menores esses teores, menos cuidados serão necessários para soldar um aço (BRANDI, 1997).

2.2.2 Descontinuidade

Outra importância dentro da metalurgia da soldagem é a descontinuidade, no qual se caracteriza por uma interrupção física, causada em um material pela abertura de uma trinca ou pela presença de um segundo material: gás, inclusão de escória e de tungstênio (BRANDI, 1997).

É indispensável o conhecimento dos tipos de discontinuidades relacionadas à operação de soldagem e seus mecanismos de formação e controle. Dependendo do tipo, ou tamanho da discontinuidade, é exigido aplicação de medidas corretivas, na qual é responsável pelo atraso no tempo de execução e aumento do custo final do serviço, além disso, proporciona descontentamento do cliente (BRAGA, 2007).

Segundo Brandi (1997), as discontinuidades podem ser classificadas quanto à origem e a forma. Em relação à origem podem ser classificadas em geométricas (operacionais) e metalúrgicas, sendo que a primeira, geralmente surge na etapa de montagem e soldagem, enquanto que a segunda, surge por algum fenômeno metalúrgico presente na poça de fusão. Já quanto à forma, podemos classificá-las em planas e volumétricas.

A tabela 2.1 indica os tipos de discontinuidades mais comuns associados a alguns processos de soldagem.

Tabela 2.1 – Comparação da discontinuidade com processos – Brasil - 1997

Processo de Soldagem	Geometria (Operacional)			Metalurgia		
	Falta de Fusão	Falta de Penetração	Mordedura	Porosidade	Inclusão de Escória	Trincas
TIG	x	x	-	x	-	x
Eletrodo Revestido	x	x	x	x	x	x

Fonte: Metalurgia da Soldagem. In: Soldagem. Coleção Tecnologia Senai

Ensaio não destrutivo após soldagem são capazes de detectar discontinuidades. A escolha dos ensaios não destrutivos está relacionada às características das discontinuidades (BRANDI, 1997).

Quando as discontinuidades atingem um tamanho crítico determinado pela norma de inspeção são consideradas defeitos e devem ser reparadas. Os ensaios não destrutivos mais empregados para detectar diferentes discontinuidades (BRANDI, 1997).

Tabela 2.2 – Comparação da descontinuidade com método de inspeção – Brasil - 1997

Descotinuidade	Método de Inspeção					
	RD	US	LP	PM	EV	CP
Porosidade	AP	D	AP ¹	D ²	AP ¹	D
Inclusão de escória	AP	AP	NA	D ²	NA	D
Falta de Fusão	D	AP	NA	NA	NA	D
Falta de Penetração	AP	AP	NA	NA	NA	D
Mordedura	AP	D	D	D	AP	D
Trincas	D	AP	AP ¹	AP ²	AP ¹	AP

Fonte: Metalurgia da Soldagem. In: Soldagem. Coleção Tecnologia Senai

Notas: Significado das Abreviaturas:

RD – Exame radiográfico; US – Exame por ultra-som; LP – Exame por líquido penetrante; PM – Exame por partícula magnética; EV – Exame visual; CP – Exame por correntes parasitas; AP – Aplicável; D – Depende; NA – Não aplicável; 1 – Superficial; 2 – Superficial e sub-superficial.

Segundo Brandi (1997), os tipos mais comuns de descontinuidades:

a) Falta de Fusão

Este termo refere-se à falta de união por fusão entre a parte do cordão na lateral do chanfro ou entre cordões na soldagem multipasse. A falta de fusão pode ser causada por um aquecimento inadequado do material sendo soldado ou por algum tipo de contaminação superficial, que impede isolar termicamente a face do chanfro da fonte de calor (BRANDI, 1997).

Esta descontinuidade é um concentrador de tensões severo, facilitando a nucleação e propagação de trincas, além de reduzir a seção efetiva da solda para resistir a esforços mecânicos (MODENESI, 2001).

Segundo Braga (2007) a falta de fusão atingindo níveis inaceitáveis deve-se remover toda a região defeituosa por esmerilhamento e posteriormente efetuar a deposição na área de reparo.

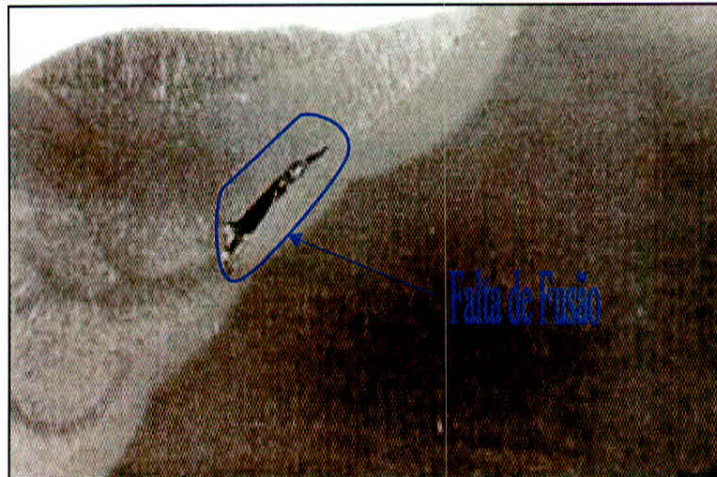


Figura 2.4 – Macrografia da falta de fusão na face do chanfro em “V”.

Fonte: BRAGA, 2007.

b) Falta de Penetração

A falta de penetração está relacionada ao cordão de solda que a raiz da junta não se une totalmente (figura 2.5). Ocorre por diversos fatores, um deles é a incorreta manipulação do eletrodo; outro seria o projeto impróprio da junta, ou escolha de um eletrodo muito grande para um dado chanfro, em ambos os casos, tornam-se difícil, direcionar o arco para raiz da junta; outra forma de ocorrer à falta de penetração é o uso de uma baixa energia de soldagem (MODENESI, 2001).

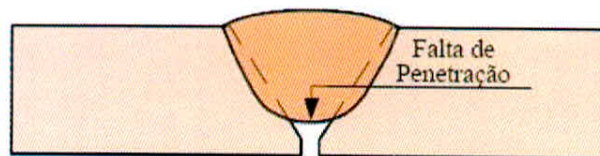


Figura 2.5 – Esquema da falta de penetração

Fonte: MODENESI, 2001.

c) Mordedura

Esse termo é caracterizado pela fusão da superfície da chapa do metal de base próxima à margem do cordão. Dependendo da norma utilizada na soldagem, a mordedura é aceitável (BRANDI, 1997).

Causado por manipulação inadequada do eletrodo (MODENESI, 2001).

A mordedura pode ser bastante grave, depende do material a soldar, visto que cria um entalhe na zona de ligação, concentrando ainda mais tensão nesse local (BRANDI, 1997).

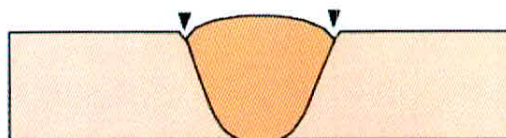


Figura 2.6 – Esquema de Mordedura.

Fonte: MODENESI, 2001.

d) Porosidade

A porosidade é resultante do aprisionamento de ar durante a solidificação da solda, já que as mesmas, não conseguem escapar para atmosfera (OLIVEIRA, 2003).

Segundo Marques, Modenesi e Bracarense (2005), a porosidade pode ocorrer de maneira uniforme distribuídas, em grupos, alinhadas e vermiculares (figura 2.7).

As causas mais comuns de seu aparecimento são umidade ou contaminações de óleo, graxa, ferrugem e outros, na região da junta; através do eletrodo, fluxo ou gás de proteção úmido; uso de corrente ou tensão de soldagem excessiva; presença de correntes de ar durante a soldagem e etc. (OLIVEIRA, 2003).

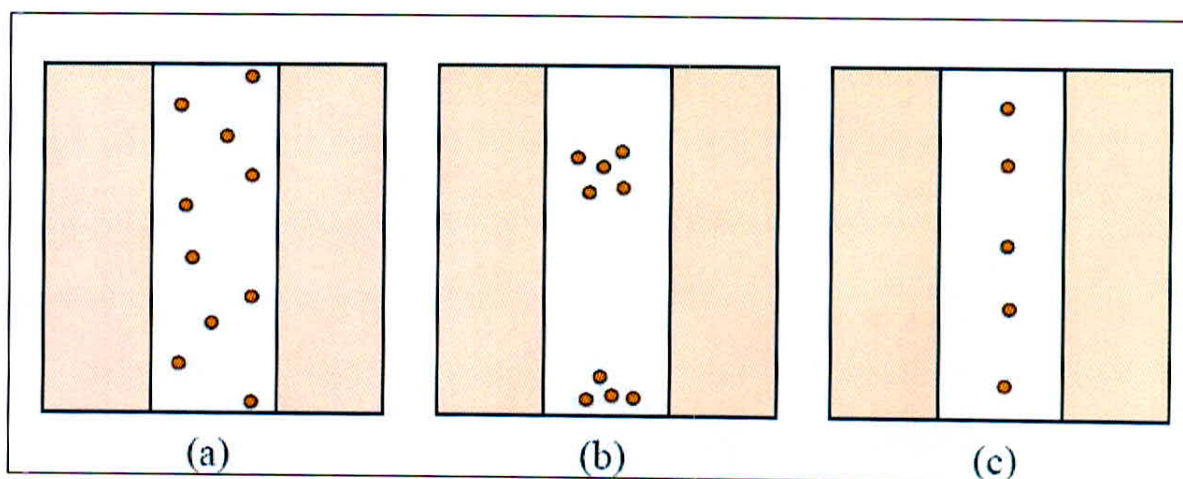


Figura 2.7 – Esquema dos tipos de distribuição de porosidade:(a) Distribuída, (b) Agrupada, (c) Alinhada.

Fonte: MODENESI, 2001.

e) Inclusão de Escória

Esse termo se caracteriza por descontinuidades originadas no metal de solda em função do aprisionamento de material metálico (inclusão de tungstênio no processo TIG) e não metálico retido na zona fundida. Esta retenção é proveniente de partículas despreendidas do eletrodo e escória na superfície a ser soldada, tornando elevado o ponto de fusão (BRAGA, 2007).

A inclusão de escória é causada principalmente devido a chapas oxidadas; intensidade de corrente muito baixa; incorreta repartição dos cordões; ausência ou inadequada limpeza entre os cordões (MODENESI, 2001).

Podemos citar como forma de controle a limpeza adequada da região a ser soldada; Remoção total da escória antes do próximo passe; Geometria adequada da junta; Uso de aporte de calor adequado; Manipulação adequada do eletrodo ou tocha (BRAGA, 2007).

De acordo com Fortes (2004) as inclusões isoladas não são tão danosas às propriedades mecânicas, assim como na porosidade. Mas, inclusões alinhadas em determinadas posições críticas como exemplo, na direção transversal à tensão aplicada podem dar início ao processo de fratura.



Figura 2.8 - Inclusão de Escória

Fonte: MODENESI, 2001.

f) Trincas

As trincas de solidificações ocorrem normalmente devido à presença de fase líquida no interior do cordão de solda ou no metal de base, que parecem macroscopicamente solidificados (BRANDI, 1997).

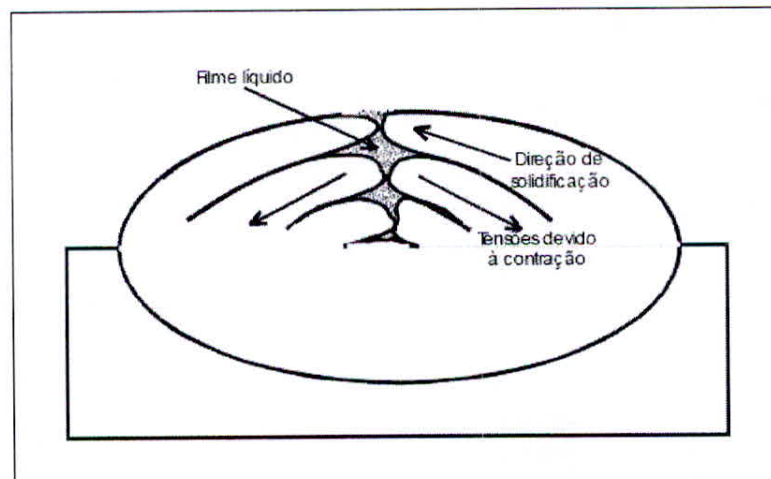


Figura 2.9 – Esquema do mecanismo de formação da trinca de solidificação.
Fonte: BRAGA, 2007.

A probabilidade de ocorrer à trinca de solidificação está relacionada diretamente com o tamanho do cordão. Um cordão muito largo gera uma tensão residual muito maior que um cordão mais estreito. Assim como, um cordão muito estreito e profundo pode apresentar trincas de solidificação. Logo, é recomendado um equilíbrio entre a largura e a penetração do cordão (BRANDI, 1997)

2.3 Ensaio Não Destrutivos

Segundo Oliveira (2003) ensaios não destrutivos (END) são realizados em peças ou amostras, acabados ou semi-acabados, com finalidade de analisar a existência ou não de descontinuidades ou defeitos, através de princípios físicos definidos, sem alterar suas características físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais, além de não interferir em seu uso posteriormente.

O END assegura o acompanhamento durante a soldagem na correção de possíveis erros, além de detectar descontinuidades acima de limites especificados em normas como: falta de penetração; falta de fusão; porosidade; trincas e outros. (ALMENDRA, RAMALHO & JUNIOR, 1997).

Os END são empregados cada vez mais como método de inspeção, garantindo a qualidade e confiabilidade de produtos e equipamentos. Dentre os métodos não destrutivos, o ultra-som é um dos mais difundidos na indústria para captar e dimensionar descontinuidades

em materiais, avaliar propriedades, medição de espessura e outros (CARVALHO, SILVA & REBELLO, 2004).

2.3.1 Ensaio de Ultra-som

De acordo com Oliveira (2003) o ensaio de ultra-som é apto a identificar e localizar descontinuidades internas em materiais, que baseia no fenômeno de reflexão de ondas acústicas quando encontram obstáculos durante a propagação, no interior do material. Tal pulso-sônico é gerado e transmitido, via transdutor, encostado ou acoplado ao material. Ultra-Som são ondas acústicas com frequências acima do limite audível. Normalmente, as frequências ultra-sônicas situam-se na faixa de 0,5 a 25 MHz.

O END por ultra-som ocorre quando um feixe sônico de alta frequência incide em um dado material, o qual se deseja realizar a inspeção. O objetivo de tal ensaio é detectar descontinuidades internas e superficiais (SANTIN, 1996).

Segundo Santin (1996) o aparelho dispõe de um visor que permite determinar a intensidade da energia refletida e a localização das interfaces. Através da interpretação destas reflexões o inspetor consegue determinar a existência ou não de descontinuidade no material.

Atualmente o emprego do END por ultra-som em indústrias, tem como palco principal as áreas de caldeiraria e estruturas marítimas. Na maioria dos casos, os ensaios são realizados em materiais de aço-carbono, em menor quantidade em aços inoxidáveis. Já em materiais não ferrosos sua aplicação é mais difícil, isso não quer dizer que não seja possível sua aplicação, porém necessita de procedimentos especiais (ANDREUCCI, 2011, P. 5).

A figura 2.10 mostra o esquema representativo de inspeção por ultra-som.

Em relação às vantagens e desvantagens do ensaio por ultra-som comparado a outros métodos não destrutivos podemos citar como vantagens (ANDREUCCI, 2011):

- a) Localização precisa das descontinuidades existentes nas peças, sem processos intermediários, como, por exemplo, a revelação de filmes;
- b) Alta sensibilidade ao detectar pequenas descontinuidades;
- c) Maior penetração para detectar descontinuidades internas na peça;
- d) Respostas imediatas pelo uso de equipamento eletrônico.

Já como limitações:

- e) Exigência de bons conhecimentos técnicos do operador;
- f) Atenção durante todo o ensaio;
- g) Obediência a padrões para calibração do equipamento;
- h) Necessidade de substâncias que façam a ligação entre o equipamento de ensaio e a peça (acoplante).

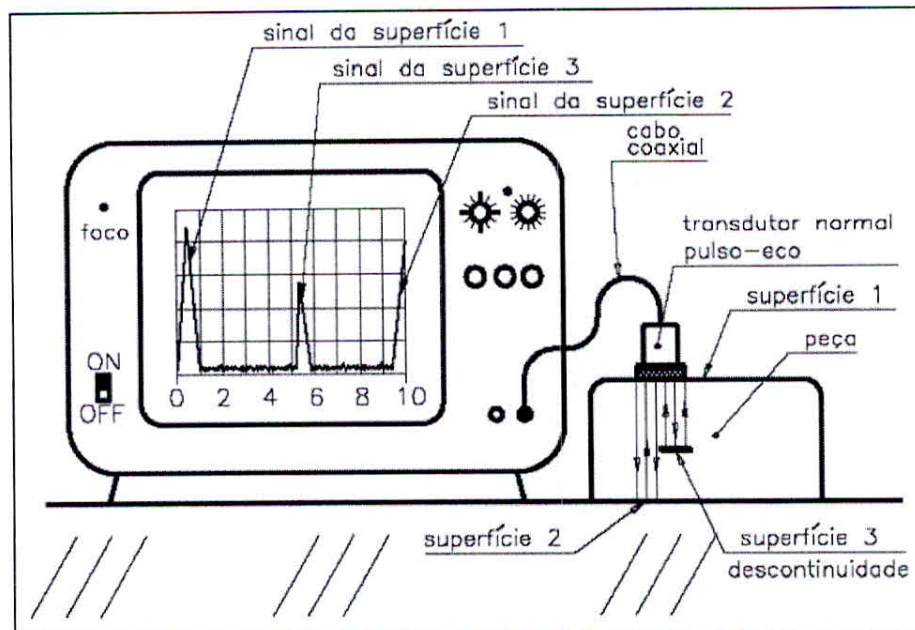


Figura 2.10 – Esquema de inspeção de material por ultra-som.

Fonte: Oliveira,2003.

2.3.2 Inspeção de Soldas Através do Método Ultra-sônico

2.3.2.1 Técnicas de Inspeção

Conforme Andreucci (2011), as técnicas mais aplicadas nas indústrias são a técnica do pulso-eco e de transparência. As figuras 2.11 e 2.12 mostram os esquemas das técnicas pulso-eco e transparência, respectivamente. O método de pulso-eco funciona semelhante a um radar, onde ondas são emitidas pelo cabeçote periodicamente. A intensidade dos ecos e o tempo de emissão das ondas e a resposta dos ecos são medidos, e com base nessas informações e conhecimento da velocidade de propagação das ondas no material, se estima a posição e o tamanho das discontinuidades (MODENESI, 2011).

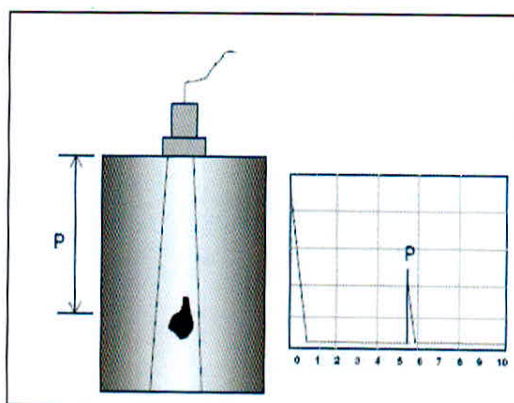


Figura 2.11 – Esquema da técnica do pulso-eco.

Fonte: ANDREUCCI, 2011.

O método de transparência se dá através de dois cabeçotes separados, situados nas superfícies opostas da peça. Um cabeçote atua como emissor e o outro como receptor das ondas ultra-sônicas. Quando existe a presença de descontinuidades toda ou parte da energia sônica é refletida, e como consequência o sinal recebido pelo transdutor será nulo ou parcial (SANTIN, 1996).

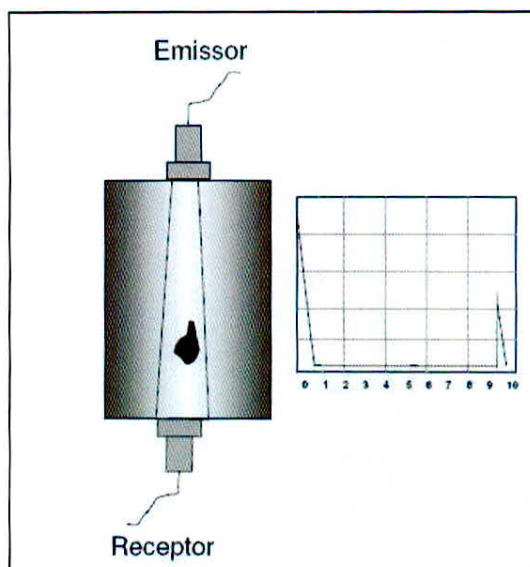


Figura 2.12 – Esquema da técnica de transparência.

Fonte: ANDREUCCI, 2011.

2.3.2.2 Aparelhos

A inspeção de soldas é realizada geralmente através de aparelhos de ultra-som convencionais do tipo pulso-eco, com mostrador tipo A (A-scan), o qual gera basicamente um gráfico (Amplitude x Tempo), onde a linha horizontal no osciloscópio representa o tempo e as deflexões verticais à amplitude dos ecos (SANTIN, 1996).

Segundo Santin (1996), aparelhos apropriados para inspeção de soldas estão disponíveis no mercado em grande quantidade, com variados fabricantes e modelos. A tabela 2.3 mostra os principais equipamentos usados em inspeções.

Tabela 2.3 – Principais modelos de equipamentos para inspeção de soldas - 1996

Fabricante	Modelos
Krautkramer	USM-2, USK-7, USN-50, USD-15
Panametrics	Epoch II, Epoch III
Sonic	Mark I, Mark IV
Karl Deutsch	Echograph 1015, Echograph 1025, Echograph 1080
Sonatest	Sitescan 130, UFD7A, Mastersan 310

Fonte: SANTIN, J. L. Ultra-Som: Técnica e Aplicação.

2.3.2.3 Transdutores

Os transdutores são conhecidos como cabeçote, converte energia elétrica em energia mecânica de vibração, e vice-versa. Em inspeções de juntas soldadas, a presença do reforço dificulta a aplicação de cabeçotes retos, tornando o uso do transdutor angular mais comum, possibilitando assim, a penetração do feixe sônico no material com um ângulo diferente de 90°, ou seja, os cabeçotes podem apresentar ângulos de 45°, 60°, 70° e outros (MONDENESI, 2001).

O transdutor dentro dele possui o cristal piezelétrico, o qual vibrará quando estimulado por pulsos elétricos provenientes do dispositivo controlador de pulsos, localizado no aparelho de ultra-som. Além disso, deve-se ter cuidado no manuseio de transdutores, são muitos frágeis. (Qualidade Aeronáutica, 2000).

O transdutor reto é bastante utilizado em inspeções de peças quando a intenção é detectar descontinuidades na direção perpendicular à superfície da peça. Já o transdutor duplo-cristal é bastante utilizado na detecção de descontinuidades localizadas próximas da superfície, devido seu feixe sônico ser focalizado. O transdutor angular é mais utilizado na inspeção de soldas e quando a descontinuidade tem orientação vertical à superfície do material a ser inspecionado (ANDREUCCI, 2011, P. 21-22).

De acordo com Santin (1996) a dimensão do cabeçote influencia a avaliação das descontinuidades, sendo indispensável atenderem requisitos da norma aplicável. Além disso, o tamanho do cabeçote interfere na dimensão da área inspecionada, tendo um reflexo direto na produtividade do ensaio.

Os Cabeçotes podem ser utilizados por contato direto ou imersão. Os cabeçotes de contato direto trabalham muito próximos da peça, porém separados por uma fina camada de acoplante. Enquanto os de imersão trabalham dentro do acoplante (geralmente a água), ficando distantes da peça. Os cabeçotes por imersão normalmente são usados em máquinas automáticas de ultra-som construídas para trabalhos específicos (MINICUCCI, 2003).

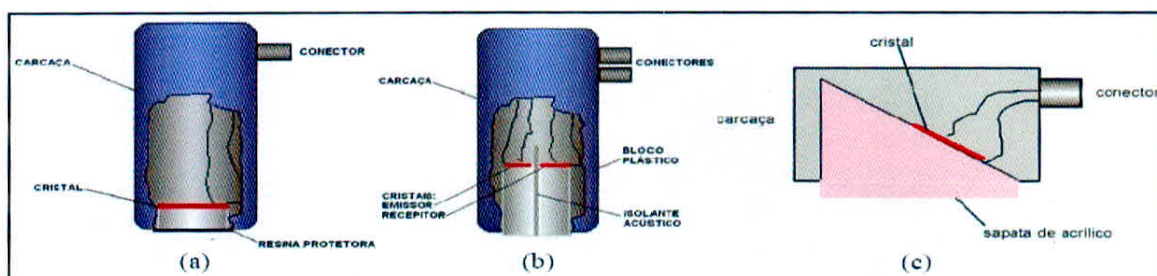


Figura 2.13 – Esquema mostrando tipos de cabeçote: (a) Transdutor Reto; (b) Transdutor Duplo-Cristal e (c) Transdutor Angular.

Fonte: ANDREUCCI, 2011.

2.3.2.4 Calibração do Aparelho

Segundo Andreucci (2011) os blocos de calibração são responsáveis pela verificação das características dos cabeçotes, além de calibrar as escalas que são utilizadas no ensaio. Tais blocos devem apresentar dimensões calibradas e podem ou não ter descontinuidades naturais ou artificiais.

Os blocos mais utilizados na calibração da escala, características e ângulo de incidência são os blocos V1 e V2 (figura 2.14), com finalidade de traçar as curvas de referência (Qualidade Aeronáutica, 2000).

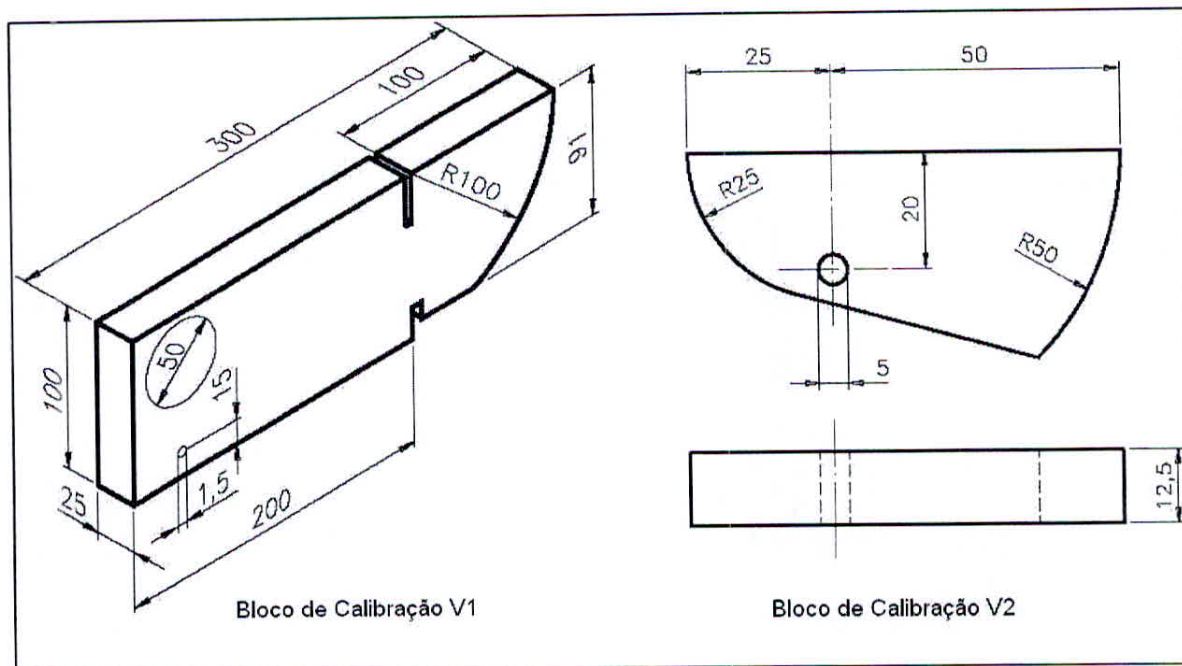


Figura 2.14 – Esquema mostrando os blocos de calibração V1 e V2.

Fonte: FERNANDES & SILVEIRA, S/d.

O bloco de referência é uma peça que pode apresentar defeitos naturais ou artificiais. O grau de rugosidade do bloco de referência deve ser idêntico ao do material a ser inspecionado (FERNANDES & SILVEIRA, S/d).

De acordo com Andreucci (2011) a recalibração do instrumento e acessórios deve ser feita quando:

- a) Houver substituição de cabeçotes no decorrer da inspeção;
- b) O aparelho for desligado;
- c) Transcorrer 90 minutos com aparelho ligado;
- d) Houver troca de operadores.

2.3.2.5 Preparação da Superfície

Segundo Santin (1996) a preparação da superfície a ser inspecionada pode ser feita através de alguns processos como: escovamento, lixamento ou esmerilhamento, de acordo com as impurezas a serem removidas.

A inspeção da solda se processará através da superfície do metal base adjacente à solda, numa área que se estenderá paralelamente ao cordão de solda, que denominamos área ou superfície de varredura (ANDREUCCI, 2011).

De acordo com Andreucci (2011) a resposta de um ensaio por ultra-som está relacionada com a preparação das superfícies, logo se devem remover carepas, tintas, óxidos, pó, graxa e tudo que possa interferir a penetração do feixe sônico na peça a ser ensaiada. Além disso, existe uma limitação de temperatura da peça que deve ser considerada, já que está relacionada ao modelo e tipo de cabeçote. Elevadas temperaturas (maiores que 60°C) são capazes de afetar o funcionamento dos transdutores.

2.3.2.6 Acoplante

Esse termo tem por finalidade, facilitar a transmissão das ondas ultrasônicas do transdutor até a peça a ser ensaiada. A seleção do acoplante está relacionada com as condições superficiais da peça e do tipo de material em ensaio.

A norma ASTM E114 estabelece que o acoplante deva ser selecionado para que a viscosidade seja apropriada e atenda a necessidade do acabamento superficial do material a ser examinado. O ensaio em superfície rugosa geralmente requer um acoplante de alta viscosidade. Já que a temperatura da superfície do material pode alterar a viscosidade do acoplante.

3 METODOLOGIA E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido dentro da Metalúrgica X. E o referido capítulo foi destinado para a descrição e especificação dos materiais, equipamentos e da metodologia experimental utilizados neste trabalho.

3.1 Materiais Utilizados

A seguir serão listados os materiais de consumo e equipamentos utilizados na execução deste estudo.

3.1.1 Equipamentos e Ferramentas

- a) Fonte retificadora trifásica para soldagem (figura 3.1).

Fabricante: IDEALARC; Modelo: R3R 600-I.

Faixa de amperagem: 75 – 600 A;

Tensão de alimentação: 220/380/440 – 50/60Hz



Figura 3.1 – Fonte de soldagem.
Fonte: Fabrício, 2011.

- b) Esmerilhadeira portátil (figura 3.2).

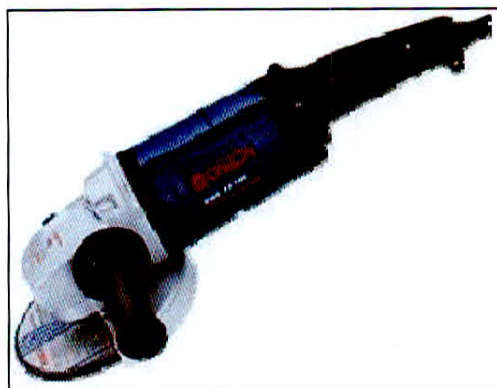


Figura 3.2 – Esmerilhadeira Bosch.

Fonte: Fabrício, 2011.

- c) Tungstênio 1/8", bico de cerâmica 6 e tocha (figura 3.3). A tocha apresentou um ângulo de 70° durante a soldagem.



Figura 3.3 – Foto da tocha com bico cerâmico e bico de tungstênio.
Fonte: Fabrício, 2011.

- d) Mascara (figura 3.4).



Figura 3.4 – Mascara para soldagem speedglas.

Fonte: Fabrício, 2011.

- e) Escova manual de aço (figura 3.5)

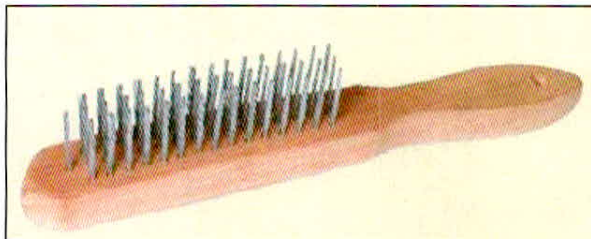


Figura 3.5 – Escova de aço para limpeza da solda.

Fonte: Fabrício, 2011.

- f) Escova rotativa traçada (figura 3.6)



Figura 3.6 – Escova rotativa para limpeza.

Notas: ϕ furo: 22mm; Espessura: 13mm; Número de Traçados: 24

Fonte: Fabrício, 2011.

- g) Martelo picador de solda (figura 3.7)

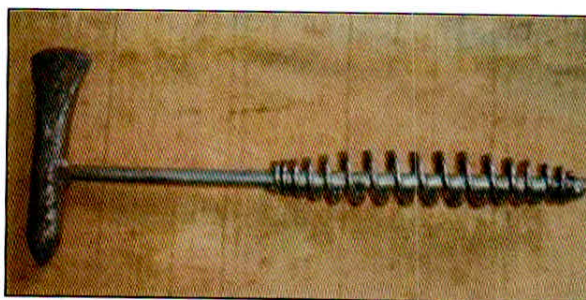


Figura 3.7 – Picador para retirada de escória.

Fonte: Fabrício, 2011.

- h) Aparelho de ultra-som: Krautkramer (USM25), figura 3.8.



Figura 3.8 – Aparelho de ultra-som.

Fonte: Fabrício, 2011

- i) Cabeçotes (figura 3.9): 0° - MSEB4; 60° - MWB 60N4; 70° - MWB 70N4

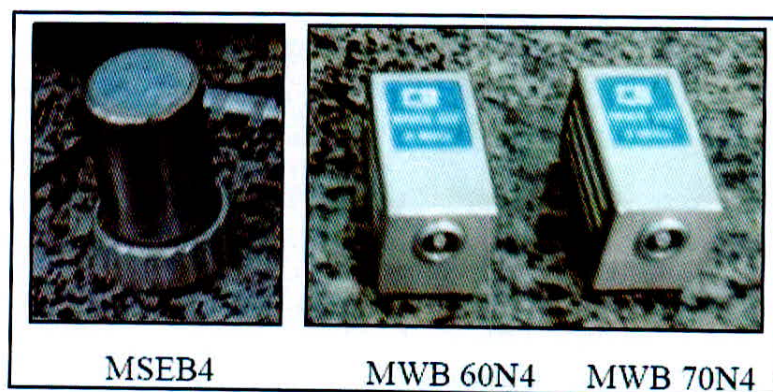


Figura 3.9 – Foto dos cabeçotes.

Fonte: Fabrício, 2011.

- j) Bloco de Calibração: V1/V2/VBL 20mm, ver figura 3.10.

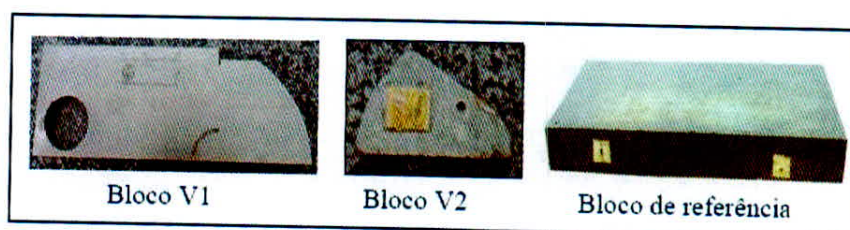


Figura 3.10 – Blocos de Calibrações.

Fonte: Fabrício, 2011.

3.1.2 Material de Consumo

- a) Chapa aço carbono comum de 12,7mm (1/2") – SAE 1020
- b) O metal de adição utilizado no processo TIG foi a Vareta 1/8" com ângulo de 20°, na tensão de 30V e corrente de 80A na posição plana.
- c) O eletrodo revestido aplicado neste estudo foi o E7018 com ϕ 2,5 mm, tensão de 27V e corrente de 90A, na posição plana.
- d) Cilindro de gás (Argônio 100%), com vazão de 9 l/min e pressão 21kgf/cm².
- e) Disco de corte, aplicado no estudo, ver figura 3.11.
- f) Botas com solado isolante.
- g) Perneiras em couro.
- h) Avental em couro.
- i) Mangotes.
- j) Luvas de raspa.
- k) Acoplante: Metil – Celulose.
- l) Trincha de 2.1/2".
- m) Flanela utilizada (400x300mm).

Disco de corte, aplicado no estudo, ver figura 3.11.



Figura 3.11 – Disco de corte Norton.

Notas: ϕ : 178mm, ϕ furo: 22mm; Espessura: 3mm.

Fonte: Fabrício, 2011.

3.2 Metodologia

Para preparar o corpo de prova, chapa aço carbono comum – SAE 1020 foi seccionada através de um disco de corte nas dimensões de 100 mm por 150 mm, com distância entre peças e altura de 3 mm e ângulo de chanfro de 30°, conforme mostrado no esquema representativo da figura 3.12.

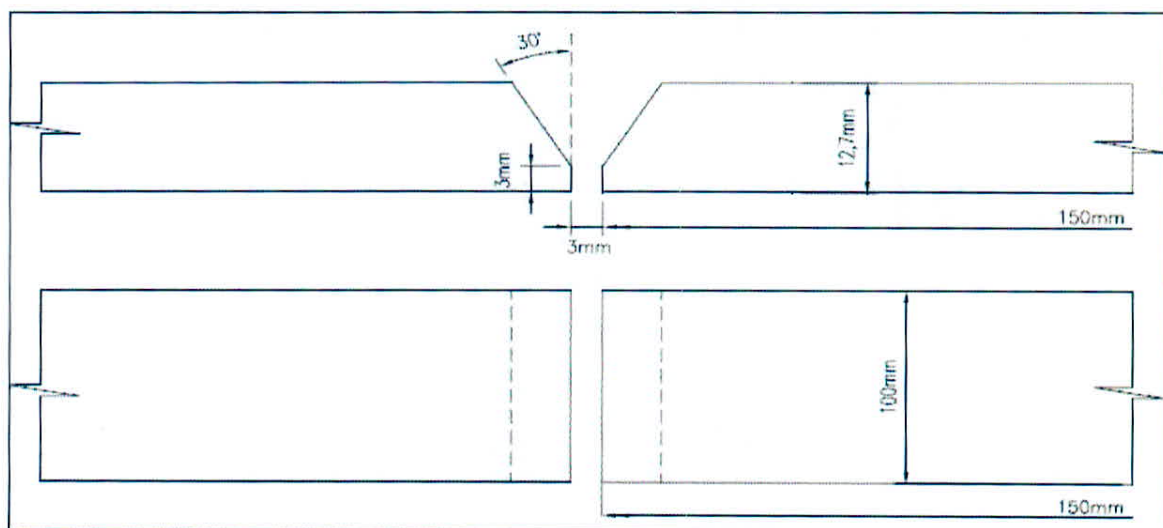


Figura 3.12 – Esquema indicado a dimensão do corpo de prova.

Fonte: Fabrício, 2011.

Depois de cortada a peça foi realizado o acoplamento, com ponteamto de um dispositivo auxiliar de montagem, conhecido como “cachorro”, localizado na superfície inferior do corpo de prova. Sua finalidade é evitar que a peça fique empenada durante a realização da soldagem, ver figura 3.13.

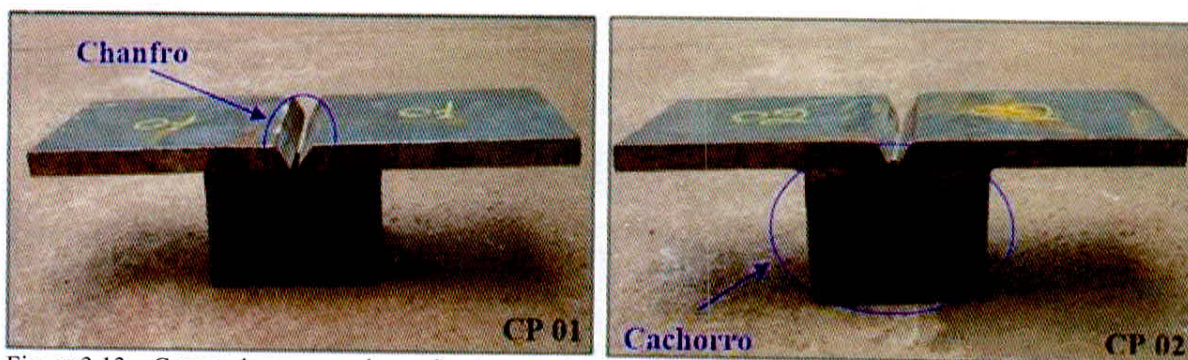


Figura 3.13 – Corpos de prova cachorro fixado aguardando soldagem.

Fonte: Fabrício, 2011.

3.2.1 Realizando a Soldagem

Após o término da etapa de preparação, foi realizada a limpeza do chanfro e superfícies próximas, numa faixa de 20mm de cada margem com a escova rotativa. A partir disso, iniciou-se o processo de soldagem, sendo que, para o passe de raiz foi utilizado o processo TIG. Para o enchimento e acabamento do chanfro aplicou-se o processo eletrodo revestido. A posição plana foi utilizada para ambos os cordões.

Para realização das soldas utilizou-se dois soldadores, um qualificado conforme normas e outro não qualificado. Este procedimento teve a intenção de incluir, descontinuidades ao longo do cordão de solda, daquele realizado pelo soldador não qualificado.

Uma fonte de soldagem retificadora foi utilizada para ambos os processos. Para o processo TIG utilizou-se eletrodo de tungstênio com 1/8” de diâmetro em CC-. A corrente e a tensão de soldagem utilizadas foram de 80A e 30V, respectivamente. Para a proteção do arco utilizamos o gás argônio puro na vazão de 9 litros/min e pressão de 21kgf/cm².

Este eletrodo foi devidamente apontado, estabelecendo-se um valor de entorno de 2 vezes o diâmetro do eletrodo. Este procedimento é ilustrado na figura 3.14. Como metal de adição utilizou-se varetas de AWS ER70S-6 de 1/8” de diâmetro.



Figura 3.14 – Preparação do eletrodo de tungstênio.

Fonte: Fabrício, 2011.

As figuras 3.15 e 3.16 mostram os corpos de prova após a soldagem de raiz.

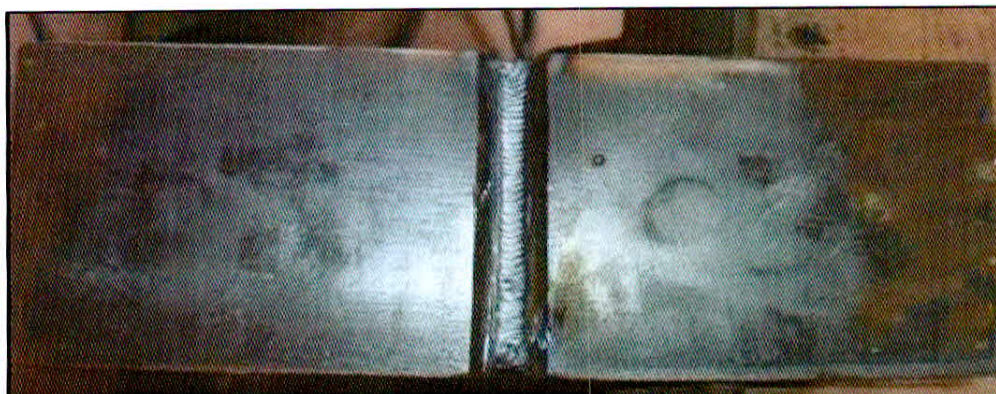


Figura 3.15 – CP 01 com passe de raiz preparado pelo soldador qualificado. Fonte: Fabrício, 2011.



Figura 3.16 – CP 02 com passe de raiz preparado pelo soldador sem qualificação.
Fonte: Fabrício, 2011.

Para o enchimento da junta pelo processo eletrodo revestido foram utilizados 4 (quatro) passes, sendo 3 (três) para o enchimento e 1 (um) para o acabamento. Para uma melhor homogeneidade da superfície da solda, esse passe de acabamento foi dividido em 4 (quatro) filetes.



Figura 3.17 – Limpeza com escova manual de aço entre passes.

Fonte: Fabrício, 2011.

O eletrodo usado no processo SMAW foi o E7018, com 2,5mm de diâmetro. A polaridade usada no processo foi inversa “eletrodo positivo (+)”, e a corrente usada no processo ficou entorno de 90A e tensão aproximadamente 27V. Os parâmetros aplicados neste processo foram os mesmos, tanto para CP01, quanto para CP2.

Após a soldagem iniciou-se o processo de preparação dos corpos de prova para a realização do ensaio de ultra-som. Tal preparação foi feita através da remoção de partículas da superfície da peça com aplicação da escova rotativa. A figura 3.18 mostra este procedimento.

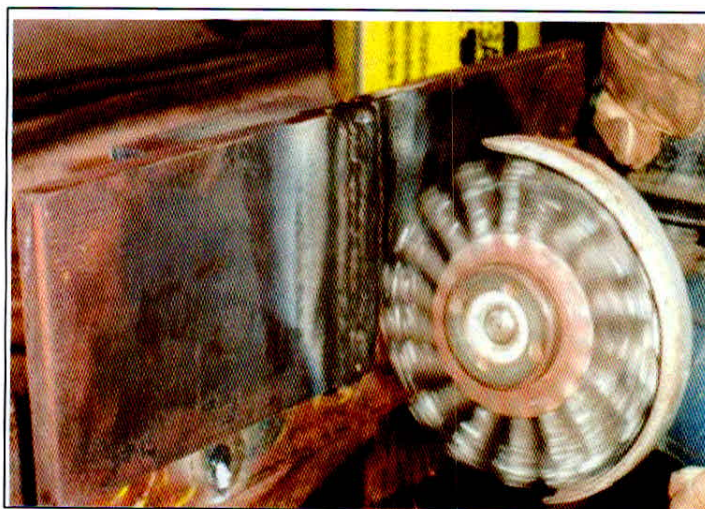


Figura 3.18 – Limpeza com escova rotativa.

Fonte: Fabrício, 2011.

3.2.2 Ensaio de Ultra-Som

Esta inspeção objetivou verificar a qualidade dos cordões de solda, através da observação de defeitos como: porosidade, inclusão de escória, falta de fusão, falta de penetração, mordeduras e trincas.

Para efetuar o ensaio propriamente dito, devemos primeiramente definir o material e tipo de solda a serem inspecionadas.

O material foi chapa de aço carbono, na espessura de 12,7mm e o detalhe dimensional da junta soldada esta mostrado na figura 3.19.

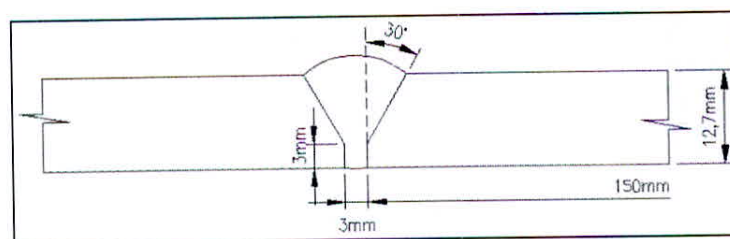


Figura 3.19 – Desenho e detalhe dimensional da solda.

Fonte: Fabrício, 2011.

Após definido o material e o tipo de solda, especificamos o aparelho e modelo – krautkramer (USM25) – e a técnica usada para realização do ensaio, a qual foi a de pulso-eco. Além disso, podemos selecionar o acoplante a ser usado no ensaio, e neste estudo, utilizou-se o metil- celulose.

Feito isso, selecionamos o cabeçote a ser utilizado no ensaio de acordo com a espessura da chapa e geometria do chanfro, e como a espessura é 12,7mm e o chanfro escolhido foi em “V”, os transdutores aplicados ao ensaio foram os de 60° e 70°.

A partir disso, iniciou-se o procedimento de calibração do aparelho. Onde primeiramente aplicou-se através de uma trincha o acoplante, nos blocos padrões para realizar a calibração. Tal calibração se deu da seguinte maneira, os blocos V1 da norma DIN 54120 e V2 da norma DIN 54122, foram utilizados apenas para conferir o ângulo e estabelecer a escala a ser usada no ensaio, respectivamente. Já o bloco de referência foi responsável pela criação da curva de referência. Essa curva é obtida da seguinte maneira:

- a) Transdutor na posição 1: O transdutor deve ficar sobre o bloco de modo a obter a máxima resposta do furo, que está a 5mm da superfície. Nesta posição deve apresentar a amplitude mais alta. Feito isso ajuste o controle da sensibilidade (ganho) para obter uma amplitude de eco em 80% da altura total da tela. Este ganho é denominado “Ganho Primário – GP”.
- b) Transdutor na posição 2: O transdutor deve ficar sobre o bloco de modo a obter a máxima resposta do furo, que está a 10mm da superfície. Nesta posição deve apresentar a amplitude mais alta. Feito isso marque o pico da indicação na tela do aparelho.
- c) Transdutor na posição 3: O transdutor deve ficar sobre o bloco de modo a obter a máxima resposta do furo, que está a 15mm da superfície. Nesta posição deve apresentar a amplitude mais alta. Feito isso marque o pico da indicação na tela do aparelho.
- d) Transdutor na posição 4: O transdutor deve ficar sobre o bloco de modo a obter a máxima resposta do furo, que está a 15mm da superfície, após o feixe sônico ter refletido na superfície oposta do bloco. Nesta posição deve apresentar a amplitude mais alta. Feito isso marque o pico da indicação na tela do aparelho.
- e) Transdutor na posição 5: O transdutor deve ficar sobre o bloco de modo a obter a máxima resposta do furo, que está a 10mm da superfície, após o feixe sônico ter refletido na superfície oposta do bloco. Nesta posição deve apresentar a amplitude mais alta. Feito isso marque o pico da indicação na tela do aparelho. Após essas etapas uniram-se os pontos na tela para obter a curva distância amplitude (DAC), para o transdutor utilizado. Feito isso, repetiu-se as operações referentes às posições dos transdutores por duas vezes, uma delas marcando os pontos agora em 50% e a outra em 20%.

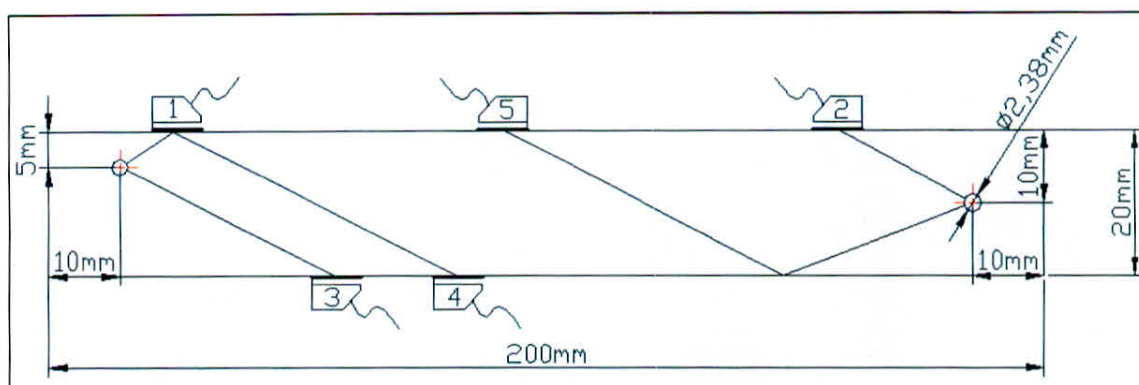


Figura 3.20 – Esquema de traçagem da curva de referência para transdutores angulares.

Fonte: Fabrício, 2011.

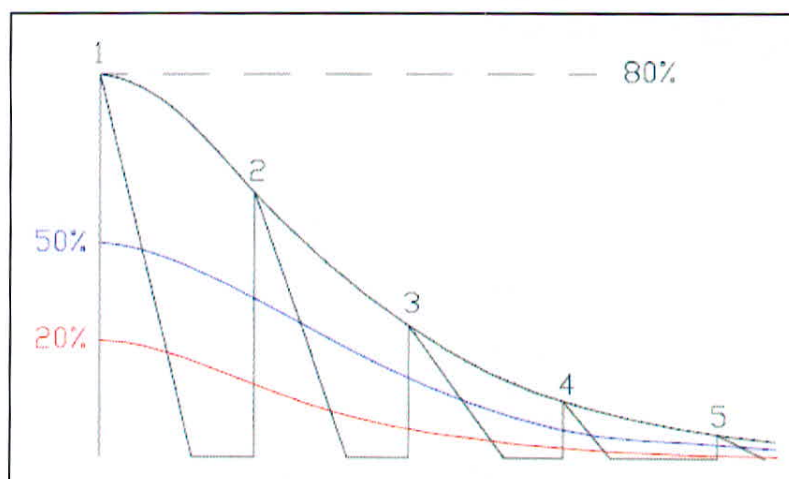


Figura 3.21 – Representação da curva de referência para transdutores angulares.

Fonte: Fabrício, 2011.

Depois de concluída a calibração, iniciou-se a aplicação do acoplante no corpo de prova com uma trincha.



Figura 3.22 – Aplicação do acoplante no corpo de prova.

Fonte: Fabrício, 2011.

Feito isso e tendo a curva de referência definida para o ângulo de 60° e 70° do cabeçote, realizou-se a inspeção da junta no corpo de prova por ambos os lados.

A varredura mínima (V) foi obtida por:

$$V = 2.e.\tan\alpha + 20$$

Onde,

e = Espessura da chapa;

α = Ângulo do cabeçote.

- Para o ângulo de 60° a varredura foi de aproximadamente 64mm.

- Para o ângulo de 70° a varredura foi de aproximadamente 90mm.

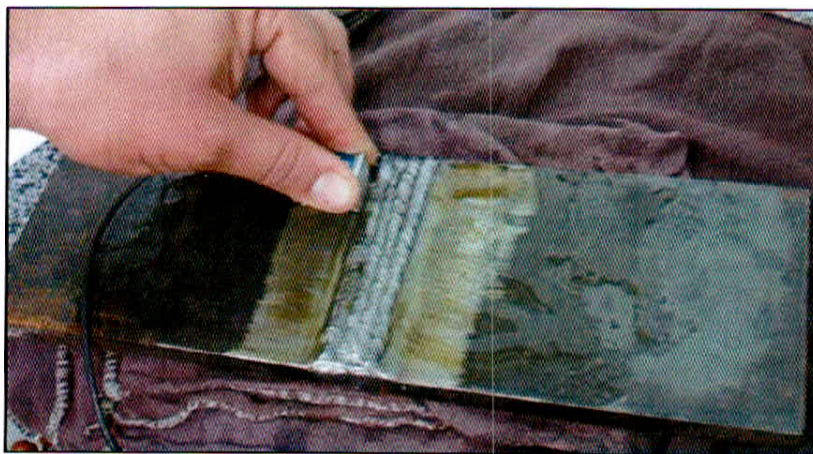


Figura 3.23 – Realizando a inspeção no corpo de prova.

Fonte: Fabrício, 2011.

Depois de realizado o ensaio, o corpo de prova foi limpo com uma flanela para remover o acoplante da superfície da peça.

As informações obtidas no ensaio foram armazenadas na memória do equipamento e posteriormente impressas em forma de relatório, ver anexo A.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As figuras 4.1 e 4.2 mostram como ficaram os corpos de prova após a soldagem aplicação da escova rotativa.

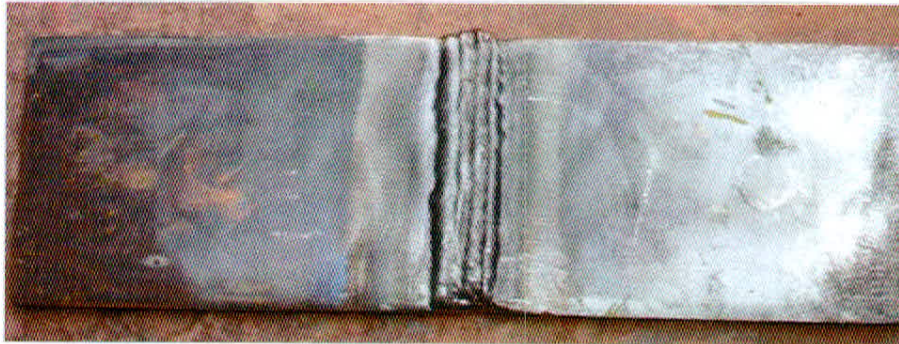


Figura 4.1 – CP 01 depois de escovado.

Fonte: Fabrício, 2011.

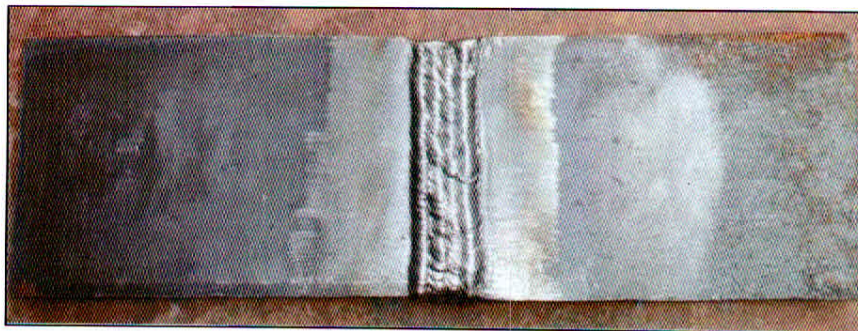


Figura 4.2 – CP 02 depois de escovado.

Fonte: Fabrício, 2011.

Após a realização do ensaio de ultra-som aplicado aos corpos de prova CP 01 e CP 02, verificou-se que o CP 01 não apresentou defeitos, enquanto o CP 02 apresentou defeito.

As interferências detectadas no CP 01, não alcançou o limite máximo de tolerância, devido a isso, podemos concluir que não houve falha no corpo de prova realizado pelo soldador qualificado. Enquanto que o corpo de prova (CP2) realizado pelo soldador sem qualificação obteve o limite de tolerância ultrapassado, logo concluímos a existência de falha no mesmo. Na prática, quando se detecta uma falha em uma peça é necessário o retrabalho, ou seja, devemos desbastar a região com falha e refazer a solda.

Segundo a prática do inspetor qualificado que realizou o ensaio de ultrassom, a falhas mostradas na figura 4.3, são alguns tipos possíveis de se encontrar em uniões soldadas e este conhecimento ajuda a identificar qual tipo de falha estamos lidando, através espectro sonoro obtido no visor do aparelho. Claro que não devemos apenas nos guiar por essa informação, pois o ensaio indica bem a localização da falha, como: profundidade, distância projetada (geralmente do centro do cabeçote até a falha), percurso sônico e profundidade.

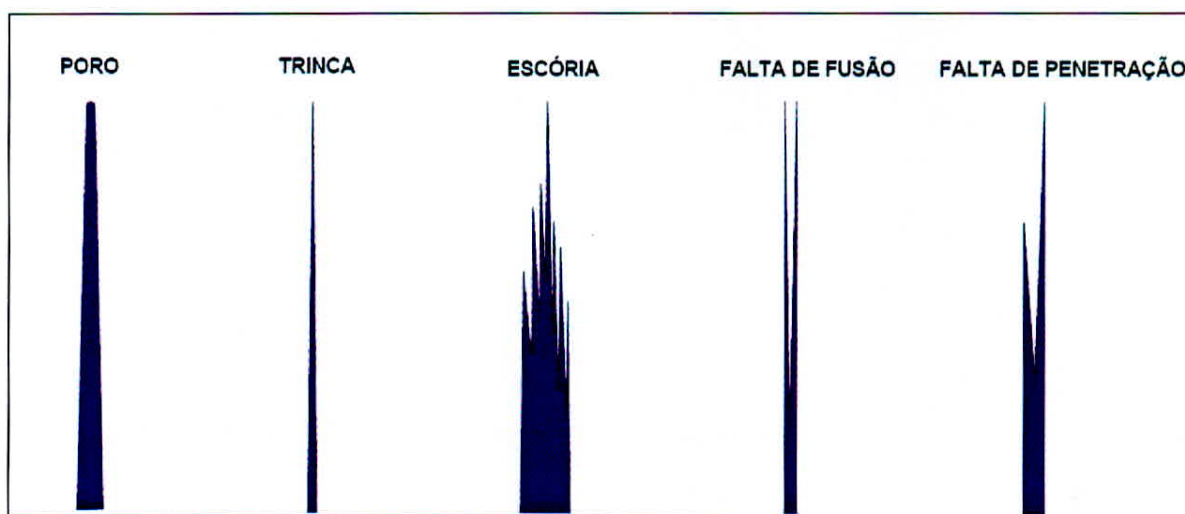


Figura 4.3 – Principais ecos de falhas encontrados em soldas de topo.

Fonte: Fabrício, 2011.

As figuras 4.4 e 4.5, mostram os registros obtidos na tela do aparelho de ultra-som relativo ao CP 01, utilizando o cabeçote angular de 60° e de 70° respectivamente. Nestas figuras são observadas as curvas de referência conforme procedimento descritos no item 3.2.3, além de pequenos ecos, o que caracteriza que CP 01 está adequada.

A figura 4.6 mostra o perfil homogêneo do cordão de solda CP 01.

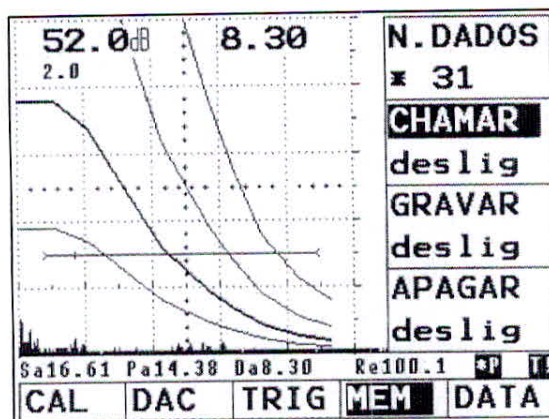


Figura 4.4 – Diagrama para o ângulo de 60° aplicado no CP01.

Fonte: Fabrício, 2011.

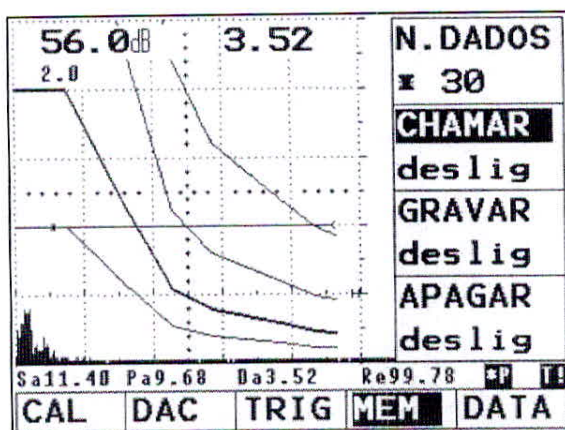


Figura 4.5 – Diagrama para o ângulo de 70° aplicado no CP01.

Fonte: Fabrício, 2011.

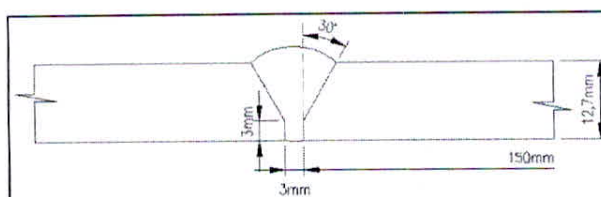


Figura 4.6 – Croqui do corpo de prova aprovado.

Fonte: Fabrício, 2011.

As figuras 4.9 e 4.10, mostram os registros obtidos na tela do aparelho de ultra-som relativo ao CP 02, utilizando o cabeçote angular de 60° e de 70° respectivamente. Nestas figuras são observadas as curvas de referência conforme procedimento descritos no item 3.2.3, além de elevados ecos, o que caracteriza que CP 02 apresenta defeitos.

Para identificação de descontinuidades localizadas em regiões de raiz de soldas em juntas soldadas, usa-se a varredura de um dos lados do cordão de solda, porém geralmente

apresentam muitas dificuldades para sua análise. Nesta região da solda (raiz do cordão) é comum surgirem reflexões que podem ter origem de vários tipos de descontinuidades, algumas são por: falta de penetração, falta de fusão, mordedura, poro, trinca e outros.

Para uma identificação confiável das descontinuidades é indispensável o conhecimento prévio da exata posição das faces da raiz antes do ensaio.

Além disso, é essencial a calibração do aparelho na escala horizontal com pequenas tolerâncias de erros e tendo cuidado na medição da distância entre o ponto de emissão do cabeçote e a linha de centro da solda. A identificação das descontinuidades da raiz da solda é baseada na posição do cabeçote relativa à linha de centro da solda e no percurso sônico lido na tela do aparelho. O percurso sônico, entretanto, tem muito pouca variação entre um tipo de descontinuidade e outra, mas a posição do cabeçote é que dá a informação mais importante nesta identificação (SANTIN, 1996).

Temos que ter bastante cuidado para não confundir, no momento do diagnóstico, o tipo de defeito encontrado. A falha por falta de penetração e por falta de fusão são muito semelhantes, porém apresenta uma diferença entre si. Segundo Santin (1996), a falta de penetração tem como característica eco estreito de grande amplitude, visualizado à esquerda da tela do aparelho, medidos em ambos os lados da solda. O que torna possível diferenciar falta de penetração da falta de fusão na raiz. Neste último defeito é observado também o eco estreito e de grande amplitude, porém sua principal diferença está quando incide no defeito, pois a projeções do eco ficam em lados opostos. As figuras 4.7 e 4.8 mostram esquematicamente o comportamento descrito anteriormente.

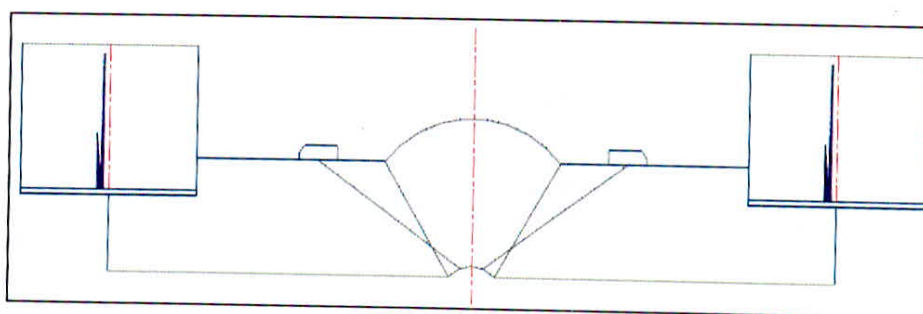


Figura 4.7 – Falta de penetração na raiz identificado no aparelho de ultra-som.

Fonte: Fabrício, 2011.

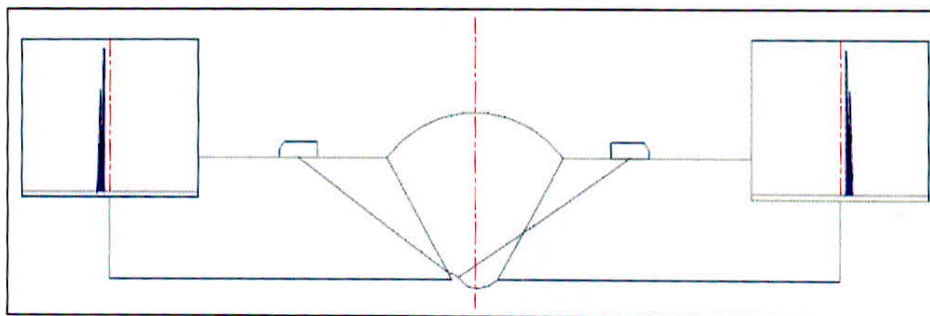


Figura 4.8 – Falta de fusão na raiz identificado no aparelho de ultra-som.

Fonte: Fabrício, 2011.

Através das figuras 4.9 e 4.10, podemos inferir que a falha foi por falta de penetração e sua localização foi identificada na região de raiz da junta. Esta afirmação teve como base as informações obtidas durante a inspeção, onde o eco apresentou um comportamento estreito de grande amplitude, à esquerda da linha de centro, em ambos os lados inspecionados.

Em relação à localização observou-se durante a varredura, tanto com cabeçote 60° como o de 70° , a presença da referida interferência, como já mencionado anteriormente. Apresentando um comprimento de descontinuidade de aproximadamente 85mm ao longo da varredura longitudinal do cordão de solda e uma profundidade entre 10mm a 12,7mm relativo a superfície de contato do cabeçote. Como a chapa usada no corpo de prova tem 12.7mm de espessura, nos permitiu assim inferir que a falha se encontra na região do passe de raiz.

De acordo com as figuras 4.9 e 4.10, a falha foi melhor observada quando aplicou-se o transdutor de 70° . É notório o alcance do eco até curva auxiliar, imediatamente superior a curva de referência. O que não acontece com o transdutor de 60° , onde apenas chega próximo.

É possível que tal interferência encontrada durante a inspeção da junta, seja proveniente da movimentação inadequada da tocha, do ângulo do metal de adição e principalmente a falta de habilidade do soldador responsável pelo CP02.

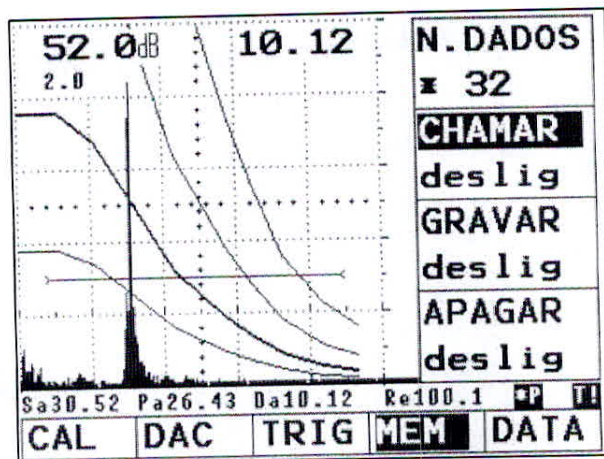


Figura 4.9 – Diagrama para o ângulo de 60° aplicado no CP02.
 Fonte: Fabrício, 2011.

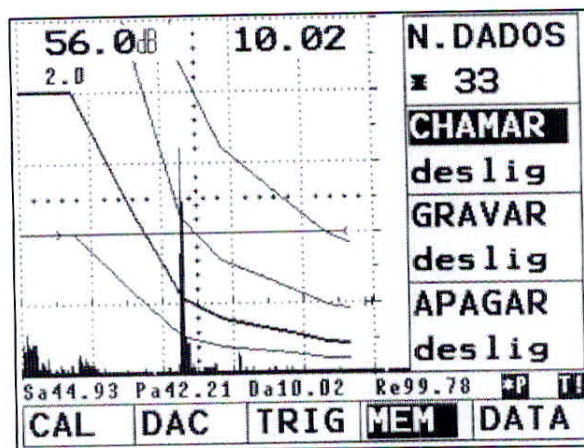


Figura 4.10 – Diagrama para o ângulo de 70° aplicado no CP02.
 Fonte: Fabrício, 2011.

5 CONCLUSÃO

Pela análise dos resultados encontrados neste trabalho podemos concluir que o ensaio de ultra-som mostrou-se muito eficaz na detecção falha no cordão de solda, para execução do ensaio é necessário treinamento, habilidade e certificação dos inspetores de ultra-som.

Outro ponto importante é que o ensaio deve ser executado conforme os padrões e procedimentos estabelecidos em normas (N-1768 da Petrobrás).

Através da prática de ensaio, podemos concluir que o CP 01 não apresentou nem defeito a falta de penetração, já que as descontinuidades encontradas excederam os limites de tolerância, logo se obteve como laudo a reprova de tal corpo de prova.

Sugestões e melhorias para trabalho futuros são:

- a) Aplicar outros processos de soldagens.
- b) Avaliar propriedade mecânica (dureza).
- c) Aplicar o ensaio a outros tipos de geometria de chanfro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCAN. **Manual de Soldagem**. [S.I.], S/d.

ALMENDRA, A. C., RAMALHO, J. P. e JUNIOR, L. G. Ensaio Não-Destrutivo. In: **Soldagem**. Coleção Tecnologia Senai. 1. ed. São Paulo/SP. 1997. p. 199.

ANDREUCCI, R. Ensaio Não-Destrutivos: Ultra-Som. In: **Soldagem**. Coleção Tecnologia Senai. 1 ed. São Paulo/SP. 2011.

BRAGA, E. M. **Aspectos Sobre Descontinuidades em Regiões Soldadas**. Belém/PA: Universidade Federal do Pará (UFPA), 2007.

BRANDI, S. D. Metalurgia da Soldagem. In: **Soldagem**. Coleção Tecnologia Senai. 1. ed. São Paulo/SP, 1997.

FORTES, C. **Metalurgia da Soldagem**. ESAB BR, [S.I.]. 2004.

MACHADO, I. G. **Soldagem e técnicas conexas: processos**. Porto Alegre/RS. 1996. p. 71.

MARQUES, P. V., MODENESI, P. J e BRACARENSE, A. Q. **Soldagem: Fundamentos e Tecnologia**. Belo Horizonte/MG: Ed. UFMG, 2005.

MINICUCCI, D. J. **Avaliação de Tensões por Ultra-som no Aro de Rodas Ferroviárias Forjadas Novas – Classe C**. Campinas/SP: Universidade Estadual de Campinas, 2003.

MODENESI, P. J. **Descontinuidades e Inspeção em Juntas Soldadas**. Belo Horizonte/MG: Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 2001.

MODENESI, P. J e MARQUES, P. V. **Introdução aos Processos de Soldagem**. Belo Horizonte/MG: Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 2000.

N-1768. **Inspeção de Soldas – Ultra-som (Método de Inspeção)**. PETROBRÁS, 1981.

OLIVEIRA, R. P. **Glossário Técnico Manutenção e Engenharia Industrial**. Belo Horizonte/MG: Pontifícia Universidade Católica (PUC/MG), 2003.

FERNANDES, W. A. e SILVEIRA, J. P. **Ensaio Não Destrutivos**. PETROBRÁS, Rio de Janeiro, S/d.

POEPCKE, J. S. e BRITO P. Processos TIG. In: **Soldagem**. Coleção Tecnologia Senai. 1. ed. São Paulo/SP, 1997.

PROSPERIL, C. – **Manual de normalização: Trabalhos acadêmicos**. 6. ed. Grupo Unis. Varginha/, 2011.

Qualidade Aeronáutica. **Ensaio Por Ultra-Som**. [S/I], 2000. Disponível em <http://www.qualidadeaeronautica.com.br/princ.US.htm>. Acesso dia 28 de novembro 2011.

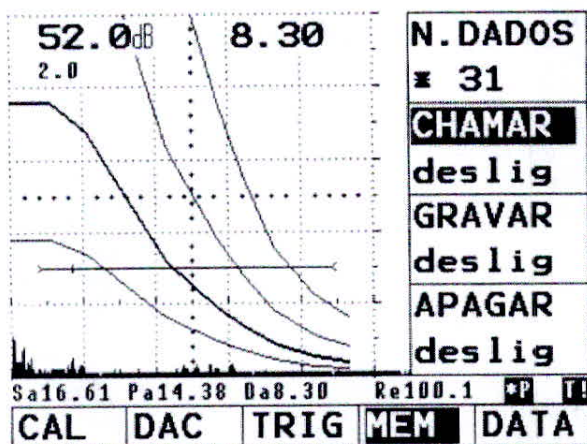
RAMALHO, J. P. e JUNIOR, L. G. Processo com eletrodo revestido. In: **Soldagem**. Coleção Tecnologia Senai. Coleção Tecnologia Senai. 1. ed. São Paulo/SP, 1997. p. 199.

SANTIN, J. L. **Ultra-Som: Técnica e Aplicação**. Rio de Janeiro/RJ: Qualitymark editora, 1996.

ANEXO

- Relatórios emitidos do aparelho de ultra-som, referentes ao CP01.

USM 25 DAC-Relatorio Inspeccao



Ajustes do aparelho:

GANH 52.0dB
 ESCALA 100mm
 VELMAT ... * 3250m/s
 R-RETAR ... * 0.12mm
 P-RETAR 4.66us

AMORTEC baixo
 POTENC baixo
 DUPLO deslig
 MODOPRF 10

dB FINO 0
 REJEIT 0%
 FREQU 2 - 20
 RECTIF rectcom

aLOGIC pos
 aINICIO ... * 8.38mm
 aLARG 80.00mm
 aALT 30%

bLOGIC pos
 bINICIO ... *112.0mm
 bLARG 40.00mm
 bALT 30%

P-MED pico
 ANGULO * 60.0
 VALOR-X 0.0mm
 ESPESSU ... * 12.7mm

Avaliaco amplitude:

MODODAC DAC
 DAC-ECO 8
 OFFSET 6.0dB
 CORR-T 4.0dB

Leituras:

Sa 16.61mm
 R-Fim 100.1mm

Pa 14.38mm
 Da 8.30mm

ALARME *
 VAL-S Da

Informacao control:

N.DADOS * 31
 NOME
 DATA 08-01-2007
 HORA 13:27:42

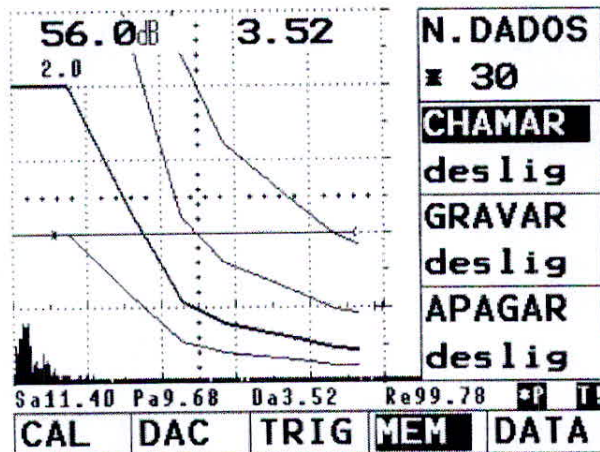
OBJECTO
 OPERAD
 SUPERFI
 COMENT

DEFEITO 9
 COMPDEF 0.0mm
 POS-X 0.0mm
 POS-Y 0.0mm

Observacoes:


 Christopher
 SMC/...
 08/01/2007

USM 25 DAC-Relatorio Inspeccao



Ajustes do aparelho:

GANH 56.0dB
 ESCALA 100mm
 VELMAT ... * 3250m/s
 R-RETAR ... *-0.22mm
 P-RETAR 4.65us

AMORTEC baixo
 POTENC baixo
 DUPLO deslig
 MODOPRF 10

dB FINO 0
 REJEIT 0%
 FREQU 2 - 20
 RECTIP rectcom

aLOGIC pos
 aINICIO ... *11.40mm
 aLARG 80.00mm
 aALT 40%

bLOGIC pos
 bINICIO ... *97.06mm
 bLARG 2.00mm
 bALT 20%

P-MED pico
 ANGULO * 70.0
 VALOR-X 0.0mm
 ESPESU ... * 12.7mm

Avaliaco amplitude:

MODODAC DAC
 DAC-ECO 7
 OFFSET 6.0dB
 CORR-T 4.0dB

Leituras:

Sa 11.40mm
 R-Fim 99.78mm

Pa 9.68mm
 Da 3.52mm

ALARME *
 VAL-S Da

Informacao control:

N. DADOS * 30
 NOME
 DATA 08-01-2007
 HORA 13:26:27

OBJECTO
 OPERAD
 SUPERFI
 COMENT

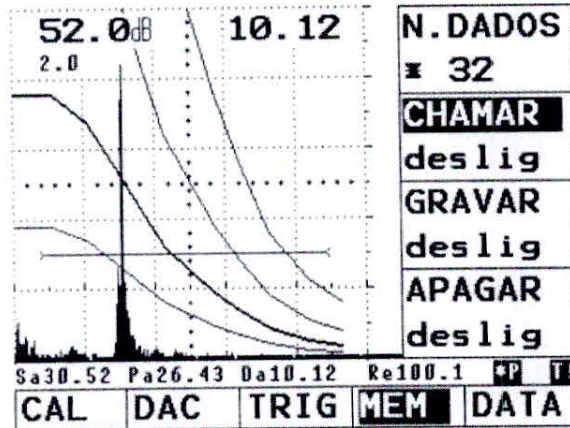
DEFEITO 9
 COMPDEF 0.0mm
 POS-X 0.0mm
 POS-Y 0.0mm

Observacoes:

CHRISTOPHER ...
 SMC ...
 9 02 12 00

- Relatórios emitidos do aparelho de ultra-som, referentes ao CP02.

USM 25 DAC-Relatorio Inspeccao



Ajustes do aparelho:

GANH 52.0dB	AMORTEC baixo	dB FINO 0
ESCALA 100mm	POTENC baixo	REJEIT 0%
VELMAT ... * 3250m/s	DUPLO deslig	FREQU 2 - 20
R-RETAR ... * 0.12mm	MODOPRF 10	RECTIF rectcom
P-RETAR 4.66us		
aLOGIC pos	bLOGIC pos	P-MED pico
aINICIO ... * 8.38mm	bINICIO ... *112.0mm	ANGULO * 60.0
aLARG 80.00mm	bLARG 40.00mm	VALOR-X 0.0mm
aALT 30%	bALT 30%	ESPESU ... * 12.7mm

Avaliacao amplitude:

MODODAC DAC
 DAC-ECO 8
 OFFSET 6.0dB
 CORR-T 4.0dB

Leituras:

Sa 30.52mm	Pa 26.43mm	ALARME A
R-Fim 100.1mm	Da 10.12mm	VAL-S Da

Informacao control:

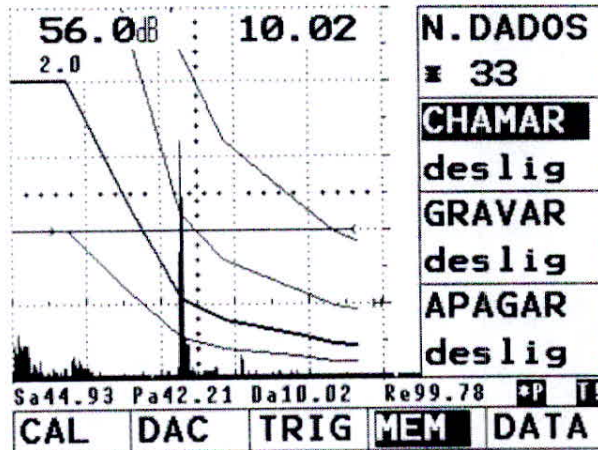
N.DADOS * 32	OBJECTO	DEFEITO 9
NOME	OPERAD	COMPDEF 0.0mm
DATA 08-01-2007	SUPERFI	POS-X 0.0mm
HORA 13:29:43	COMENT	POS-Y 0.0mm

Observacoes:

Christophe Martins
 SMC/ENP/USM
 08/01/2007

V 02 12.00

USM 25 DAC-Relatorio Inspeccao



Ajustes do aparelho:

GANH 56.0dB
 ESCALA 100mm
 VELMAT ... * 3250m/s
 R-RETAR ... *-0.22mm
 P-RETAR 4.65us

AMORTEC baixo
 POTENC baixo
 DUPLO deslig
 MODOPRF 10

dB FINO 0
 REJEIT 0%
 FREQU 2 - 20
 RECTIF rectcom

aLOGIC pos
 aINICIO ... *11.40mm
 aLARG 80.00mm
 aALT 40%

bLOGIC pos
 bINICIO ... *97.06mm
 bLARG 2.00mm
 bALT 20%

P-MED pico
 ANGULO * 70.0
 VALOR-X 0.0mm
 ESPESSU ... * 12.7mm

Avaliaco amplitude:

MODODAC DAC
 DAC-ECO 7
 OFFSET 6.0dB
 CORR-T 4.0dB

Leituras:

Sa 44.93mm
 R-Fim 99.78mm

Pa 42.21mm
 Da 10.02mm

ALARME A
 VAL-S Da

Informacao control:

N.DADOS * 33
 NOME
 DATA 08-01-2007
 HORA 13:32:20

OBJECTO
 OPERAD
 SUPERFI
 COMENT

DEFEITO 9
 COMPDEF 0.0mm
 POS-X 0.0mm
 POS-Y 0.0mm

Observacoes:

[Handwritten signature and scribbles over the Observacoes section]