



**BRUNO VICENTE
LARISSA VAGMAKER GONÇALVES
MATHEUS PESSE CALEFI
RAFAEL BOTAN AMORIM BARBOSA
TAYNARA DE MARCHI MANTOVANI**

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DA ESTUFA NA SOLDAGEM COM
ELETRODO REVESTIDO E7018**

ARACRUZ-ES

2022



BRUNO VICENTE
LARISSA VAGMAKER GONÇALVES
MATHEUS PESSE CALEFI
RAFAEL BOTAN AMORIM BARBOSA
TAYNARA DE MARCHI MANTOVANI

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DA ESTUFA NA SOLDAGEM COM
ELETRODO REVESTIDO E7018**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenadoria do curso de Engenharia Mecânica das Faculdades Integradas de Aracruz como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Esp. Patrik Borges do Nascimento Leal

ARACRUZ-ES

2022

BRUNO VICENTE
LARISSA VAGMAKER GONÇALVES
MATHEUS PESSE CALEFI
RAFAEL BOTAN AMORIM BARBOSA
TAYNARA DE MARCHI MANTOVANI

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DA ESTUFA NA SOLDAGEM COM
ELETRODO REVESTIDO E7018**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenadoria do curso de Engenharia Mecânica
das Faculdades Integradas de Aracruz como
requisito parcial para obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Mecânica.

Aprovada em ____ de _____ de _____

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Esp. Patrik Borges do Nascimento Leal
Faculdades Integradas de Aracruz
Orientador

Prof. Me. Daniel Ernesto Otarola Tasaico
Faculdades Integradas de Aracruz

Prof. Dr..Harerton Oliveira Dourado
Faculdades Integradas de Aracruz

AGRADECIMENTO

Em primeiro lugar gostaríamos de agradecer a Deus por permitir a conquista deste trabalho, resultado de lutas e vitórias, sempre indicando o melhor caminho! Agradecemos também aos nossos familiares, por nos apoiarem em todos os momentos. Agradecemos também os inspetores e o soldador que nos auxiliaram na realização dos ensaios e no conteúdo em geral: Diego e Marcelo.

RESUMO

Os cordões de solda produzidos pelos processos de soldagem com eletrodo revestido podem ter sua qualidade afetada por sua propriedade higroscópica. Defeitos microestruturais podem ser gerados em decorrência da absorção de umidade pelos consumíveis de solda. A utilização de estufas portáteis preserva as propriedades do eletrodo, mantendo-o livre de umidade do ar. Este trabalho teve como objetivo avaliar e comparar solda produzida por eletrodo corretamente armazenado em estufa e solda obtida por meio de eletrodo exposto ao ambiente, mantendo-se os parâmetros de soldagem. Foram soldados dois corpos de prova, cada um correspondendo a uma das situações dispostas. Os resultados mostram uma grande diferença no aspecto visual dos mesmos logo após a soldagem, porém o ensaio de líquido penetrante não refletiu bem às expectativas, pois foram observadas descontinuidades como mordeduras e poros em maior quantidade na solda com eletrodo devidamente armazenado em estufa. Além disso, foi realizado o teste de abertura de arco com eletrodos fora da estufa e eletrodos devidamente armazenados e secos, e foi observado que os eletrodos secos obtiveram melhor resultado com o arco elétrico.

Palavras-chave: Soldagem. Eletrodo revestido. Estufa. Estufa portátil. Armazenamento de eletrodos. Ensaio não destrutivo. Abertura de arco.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Composição do eletrodo revestido.....	15
Figura 2 - Soldagem com eletrodo revestido.....	22
Figura 3 - Estufa para secagem.....	27
Figura 4 - Estufa para manutenção da secagem.....	28
Figura 5 – Estufa portátil de manutenção da secagem.....	29
Figura 6 - Sequência do ensaio com líquidos penetrantes.....	33
Figura 7 - Eletrodos AWS A5.1 E7018.....	37
Figura 8 - Líquido Penetrante.....	38
Figura 9 - Revelador.....	39
Figura 10 - Escova manual.....	39
Figura 11 - Paquímetro 150mm.....	40
Figura 12 - Máquina de solda.....	40
Figura 13 - Esmerilhadeira Bosch.....	41
Figura 14 - Estufa portátil - cochicho.....	42
Figura 15 - Desenho esquemático do corpo de prova.....	43
Figura 16 - Corpos de prova após a soldagem.....	45
Figura 17 - Corpos de prova com aplicação do Líquido Penetrante.....	46
Figura 18 - Corpos de prova com aplicação do Revelador.....	47
Figura 19 - Teste com eletrodo fora da estufa.....	48
Figura 20 - Teste com eletrodo armazenado em estufa.....	48
Figura 21 - Ensaio visual - Corpo de Prova 01.....	49
Figura 22 - Ensaio visual - Corpo de Prova 02.....	50
Figura 23 - Ensaio de LP nos CP's 01 e 02.....	51

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Eletrodos armazenados corretamente.....	52
Gráfico 2 - Eletrodos armazenados incorretamente.....	52

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais elementos presentes no revestimento.	21
Quadro 2 - Tempo máximo de exposição para eletrodos de baixo hidrogênio.	30
Quadro 3 - Tipos de preparação da superfície para realização do ensaio visual.	31
Quadro 4 - Tipos de descontinuidades que podem ser encontradas durante inspeção visual.	31
Quadro 5 - Composição Química do eletrodo E7018.	36
Quadro 6 - Composição Química do metal de base.	42

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ASME – American Society of Mechanical Engineers;

AWS – American Welding Society;

CP – Corpo de Prova;

EPI – Equipamento de Proteção Individual;

FBTS - Fundação Brasileira de Tecnologia da Soldagem;

FISPQ - Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico;

LP – Líquido Penetrante;

SMAW – Shielded Metal Arc Welding.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo geral.....	14
2.2 Objetivos específicos.....	14
3. REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1 Processo de soldagem por eletrodo revestido.....	15
3.2 Revestimentos	16
3.2.1 Classificação dos componentes do revestimento	17
3.2.2 Tipos de revestimentos	18
3.3 Gases de proteção	21
3.4 Equipamentos para soldagem com eletrodo.....	22
3.5 Corrente.....	23
3.6 Técnicas de soldagem com eletrodo revestido.....	24
3.7 Transporte e armazenamento dos eletrodos	25
3.7.1 Estufas fixas.....	26
3.7.2 Estufa portátil de manutenção da secagem	28
3.8 Influência da umidade dos eletrodos revestidos na soldagem.....	29
3.9 Ensaios não destrutivos.....	30
3.9.1 Ensaio visual	30
3.9.2 Ensaio líquido penetrante	32
4. METODOLOGIA.....	35
4.1 Orientações de segurança.....	35
4.2 Orientações operacionais	35
4.3 Materiais e métodos.....	36
4.4 Processos de inspeção do cordão de solda	44
4.4.1 Ensaio por inspeção visual	44

4.4.2 Ensaio por líquido penetrante	44
4.5 Teste de abertura de arco.....	47
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
5.1 Análise do ensaio visual	49
5.2 Análise do ensaio líquido penetrante	50
5.3 Análise do teste de abertura de arco	51
6. CONCLUSÃO.....	54
7. REFERÊNCIAS.....	55
APÊNDICE A - MAPEAMENTO LONGITUDINAL DE DESCONTINUIDADES (CP 01)	59
APÊNDICE B - MAPEAMENTO LONGITUDINAL DE DESCONTINUIDADES (CP 02)	60
ANEXO A – FISPQ REVELADOR NÃO AQUOSO	61
ANEXO B – FISPQ LÍQUIDO PENETRANTE VISÍVEL LAVÁVEL A ÁGUA.....	62

1. INTRODUÇÃO

O processo de soldagem se tornou um dos métodos mais importantes, baratos, e versáteis de união entre os materiais em escala fabril. Tal método em que se consegue a união de metais, usando uma fonte de calor, com ou sem aplicação de pressão, garantindo na junta a continuidade das propriedades químicas e físicas do metal base. O processo de soldagem também é usado para a deposição de material sobre a superfície, com o objetivo de recuperar peças desgastadas ou para a formação de um revestimento (BRANDI, 1992).

Um dos mais antigos e simples, é soldagem a arco elétrico por eletrodo revestido (SMAW), enfatizado por alguns autores como o mais importante processo de fabricação da metalmecânica, devido sua enorme flexibilidade, versatilidade nas ações de baixo custo (HOULDCROFT, 1979; WAINER, 2005).

Em sua dissertação de mestrado, Luan Mayk (2019), diz que embora haja algumas limitações em sua funcionabilidade, a utilização do eletrodo revestido no processo de soldagem possibilita inúmeros benefícios no processo SMAW. Entre tais características benéficas, se destacam as boas propriedades mecânicas. Entretanto exige cuidados especiais, pois absorvem com rapidez a umidade proveniente da atmosfera. Esta peculiaridade típica, encarece o processo de fabricação, sendo que é necessária uma atenção redobrada no armazenamento destes eletrodos, para que eles não tenham contato com o meio externo, absorvendo assim a umidade.

“Apesar de 50 anos de pesquisa na prevenção de rachaduras induzidas por hidrogênio em soldagens, esta forma de fissuração ainda é o problema mais sério que o aço enfrenta na indústria de fabricação hoje” (MELBOURNE, 1996).

Como o eletrodo possui características e aplicações diversas no mercado, muitas empresas tentam desenvolver alternativas para controlar a absorção de umidade. Entretanto há no mercado um método eficaz e de menor custo que retira a umidade que afeta diretamente o produto a curto e a longo prazo.

A partir da vivência em área industrial por parte dos componentes do grupo foi observado que a utilização de estufas portáteis para manter o eletrodo livre de umidade do ar, preserva suas propriedades e reduz a probabilidade de gerar defeitos microestruturais e/ou visuais no cordão de solda; além de aumentar a produtividade do operador em função da melhor abertura de arco.

Dessa forma, o presente trabalho investigará a utilização de estufas portáteis e reafirmará sua influência na qualidade e soldabilidade dos eletrodos.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Investigar a importância do uso de estufas portáteis (cochichos) para garantir as características dos consumíveis e a qualidade do processo de soldagem por eletrodo revestido.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar testes em corpos de prova, utilizando consumíveis de eletrodo revestido submetidos a diferentes condições de armazenagem.
- Identificar através de Ensaio não Destrutivo, possíveis defeitos gerados pelo acúmulo de umidade presente no eletrodo utilizado.
- Descrever os resultados das amostras através da análise de imagens obtidas.

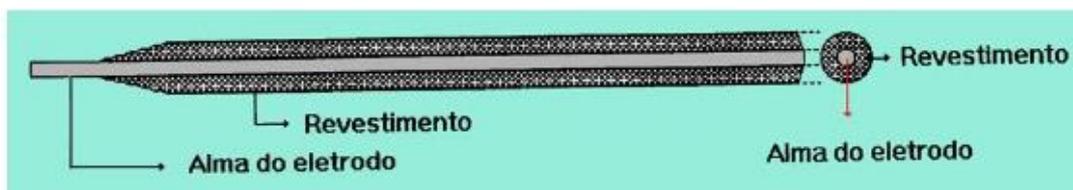
3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Processo de soldagem por eletrodo revestido

A soldagem por eletrodo revestido é definida como um processo de soldagem a arco, onde a união é produzida pelo calor do arco criado entre o eletrodo revestido e a peça a soldar (WAINER, BRANDI, MELLO, 1992).

O eletrodo revestido consiste em uma vareta metálica, chamada "alma", trefilada ou fundida, que conduz a corrente elétrica e fornece metal de adição para enchimento da junta. A alma é recoberta por uma mistura de diferentes materiais, numa camada que forma o "revestimento" do eletrodo, conforme apresentado na Figura 1 (MARQUES, MODENESI e BRACARENCE, 2011).

Figura 1 - Composição do eletrodo revestido.



Fonte: FBTS; tecnologia de soldagem, 2022.

Este processo teve início no princípio do século XX, com a utilização de arames nus para cerca, ligados a rede elétrica. O resultado dessa prática era geralmente pobre, com sérios problemas de instabilidade de arco e depósitos de solda contaminados. Observou-se que arames enferrujados, ou cobertos por cal, proporcionavam maior estabilidade de arco, tendo-se adotado o eletrodo com revestimento ácido ainda no começo da primeira década (WAINER, BRANDI, MELLO, 1992).

Desde estes estágios iniciais, o desenvolvimento tem sido contínuo, podendo-se mencionar o advento dos eletrodos rútilicos, em meados da década de 1930, o revestimento básico, no início da década seguinte e da adição de pó de ferro, em meados da década de 1950 (WAINER, BRANDI, MELLO, 1992).

A possibilidade de inúmeras formulações para o revestimento explica a principal característica deste processo, que é a sua grande versatilidade em termos de ligas soldáveis, características operacionais, mecânicas e metalúrgicas do metal

depositado. O custo relativamente baixo e a simplicidade do equipamento necessário, comparados com outros processos, e a possibilidade de uso em locais de difícil acesso ou abertos, sujeitos a ação de ventos, são outros aspectos importantes (MARQUES, MODENESI e BRACARENCE, 2011).

Comparada com outros processos, a soldagem com eletrodos revestidos possui como principal limitação uma baixa produtividade, apresentando uma taxa de deposição, que pode variar, por exemplo, entre 1,0 e 2,55 kg/h para eletrodos de aço carbono. Em termos do fator de ocupação do soldador que consiste na porcentagem total do tempo de soldagem com o arco de soldagem em operação, pode ser inferior a 40%. Outras limitações são a necessidade de um treinamento específico para o soldador, particularmente para certas aplicações, necessidade de cuidados especiais com os eletrodos, principalmente com os do tipo básico, e o grande volume de gases e fumos gerados no processo, que podem ser prejudiciais à saúde, particularmente em ambientes fechados (MARQUES, MODENESI e BRACARENCE, 2011).

3.2 Revestimentos

O revestimento do eletrodo tem as funções de: "realizar ou possibilitar reações de refino metalúrgico, tais como desoxidação e dessulfuração; formar uma camada de escória protetora; facilitar a remoção de escória e controlar suas propriedades físicas e químicas; facilitar a soldagem nas diversas posições; dissolver óxidos e contaminações na superfície da junta; reduzir o nível de respingos e fumos; diminuir a velocidade de resfriamento da solda; possibilitar o uso de diferentes tipos de corrente e polaridade; e aumentar a taxa de deposição (quantidade de metal depositado por unidade de tempo), entre outras" (MARQUES, MODENESI e BRACARENCE, 2011).

De acordo com WAINER, BRANDI, MELLO (1992), os revestimentos devem idealmente possuir um número de propriedades simultâneas, tais como:

- a composição química deve ser homogênea ao longo do cordão de solda;
- a operação em geral e o controle e remoção de escória devem ser fáceis;
- os depósitos devem ser livres de trincas, poros ou outros defeitos;
- a quantidade de respingos deve ser mínima;
- a estabilidade do arco deve ser boa;

- a abertura e reabertura do arco devem ser fáceis;
- a penetração deve ser adequada;
- a taxa de deposição deve ser alta;
- o acabamento superficial e o formato do cordão devem ser bons;
- o eletrodo não deve superaquecer;
- o revestimento não deve ser higroscópico;
- a geração de odores e fumos deve ser mínima e o revestimento deve estar fortemente aderente à alma e ser flexível.

Os compostos empregados no revestimento do eletrodo determinam as características operacionais e influenciam na composição química e propriedades mecânicas da solda efetuada, determinando assim uma união de alta ou baixa qualidade (MARQUES, MODENESI e BRACARENCE, 2011).

“Um eletrodo ideal seria aquele que cumprisse plenamente todas estas funções, a um custo de produção satisfatório, e ainda que não apresentasse problemas de conservação e manuseio” (MARQUES, MODENESI e BRACARENCE, 2011). Entretanto segundo WAINER, BRANDI, MELLO (1992), alguns destes requisitos são antagônicos entre si, pois caracterizar a influência de cada um dos constituintes dos revestimentos pode ser uma tarefa complexa, já que frequentemente eles possuem mais de uma finalidade e produzem efeitos diversos e simultâneos na soldagem. Além disto, o efeito de cada constituinte pode ser alterado na presença de outros, devido a interação entre eles.

3.2.1 Classificação dos componentes do revestimento

De acordo com Paulo Villani Marques (2000), os materiais do revestimento podem ser classificados em seis grupos principais:

- **Elementos de liga** - elementos de liga como molibdênio, cromo, níquel, manganês e outros atribuem propriedades mecânicas específicas ao metal de solda utilizado.
- **Aglomerantes** – os aglomerantes possuem a incumbência de formar uma massa plástica de material de revestimento capaz de ser extrudada e secada

no forno. Logo após a secagem deve apresentar uma dureza e resistência suficiente para não se fragmentar, trincar ou lascar. Além de tornar o revestimento não inflamável e aumentar a vida útil do eletrodo.

- **Formadores de gases** - são componentes químicos utilizados na constituição dos revestimentos, com a finalidade de produzir gases para proteção da solda.
- **Estabilizadores do arco** - o ar não é suficientemente condutor para manter um arco estável, e então se torna necessário adicionar ao revestimento ingredientes que proporcionarão um caminho condutor para a corrente elétrica. Tais elementos como os compostos de titânio, potássio e cálcio.
- **Formadores de fluxo e escória** – componentes como sílica e a magnetita são utilizados para incorporar a escória e conferir propriedades como viscosidade, tensão superficial e ponto de fusão.

3.2.2 Tipos de revestimentos

A composição do revestimento do eletrodo possui, normalmente, influência direta em vários parâmetros do processo e solda final. A mistura é responsável por fornecer proteção gasosa adequada, influenciar a abertura, reabertura e estabilidade do arco, penetração, taxa de deposição e acabamento final, além de diminuir a quantidade de respingos (WAINER et. al., 1992).

Os revestimentos dos eletrodos podem ser compostos por vários componentes químicos tais como: celulose e dextrina que são substâncias orgânicas cuja queima no arco gera uma atmosfera redutora, constituída principalmente por CO e H₂, que protege o arco; carbonatos responsáveis por controlar a basicidade da escoria e fornecem atmosfera protetora com sua decomposição; dióxido de titânio (rutilo) que reduz a viscosidade da escória e o seu intervalo de solidificação; ferro-manganês e ferro silício que promovem a desoxidação da poça de fusão e ajustam sua composição; pó de ferro: aumenta a taxa de deposição e o rendimento do eletrodo, além de estabilizar o arco; argilas que formam escoria e facilitam a fabricação do eletrodo por extrusão; fluoreto de cálcio que ajuda a controlar a basicidade da escória e diminui sua viscosidade; silicatos: proporcionam a formação de escória e, especificamente, os silicatos de potássio ou sódio agem como ligantes do

revestimento e estabilizantes do arco; e óxidos de ferro e manganês, que possibilitam a formação de escória, controlam a sua viscosidade e estabilizam o arco (MARQUES, MODENESI e BRACARENCE, 2011).

Os eletrodos são classificados de acordo com os compostos empregados e suas proporções e podem ser divididos em: ácido, básicos, celulósicos, oxidante, rutilico e básico/ rutilico (MACHADO, 2007). Segue abaixo a descrição dos principais revestimentos utilizados:

- Revestimentos ácidos: possuem altos teores de óxido de ferro e manganês e sua tensão de trabalho se situa entre 20 e 40 V. Contendo maior teor de sílica e alumina e elevada tensão (50V) (MACHADO, 2007). “[...] O metal de solda produzido por esse eletrodo, entre todos, é o mais suscetível a trincas de solidificação e, portanto, os elementos carbono, enxofre e fósforo se encontram em baixos teores” (MACHADO, 2007), fazendo com que aja em detrimento da resistência mecânica e a favor da ductibilidade. Possui uma geração de gases baixo comparado aos dos eletrodos celulósicos e rutilicos. Possuem altas taxas de penetração e baixo nível de respingos, com escória abundante, resultando em fácil remoção, (WAINER, 2015).
- Revestimentos básicos: os eletrodos do tipo básico possuem grandes teores de carbonato de cálcio e fluorita e sua escória se apresenta fluida, facilmente destacável. Além disso, o metal de solda depositado por esse consumível pode apresentar qualidades metalmeccânicas superiores dentre todos os eletrodos, especialmente a tenacidade (MACHADO, 2007). O mesmo, “não possui substâncias orgânicas em sua formulação e, se armazenado e manuseado corretamente, produz soldas com baixo teor de hidrogênio, o que diminui o risco de fissuração e de fragilização induzidas por este elemento (MARQUES, MODENESI e BRACARENCE, 2011), tornando-o um dos mais utilizados na soldagem de materiais de difícil soldabilidade.
- Revestimentos celulósicos: apresentam mais de 20% de materiais orgânicos, que sob ação do arco de solda, se decompõem, produzindo elevada quantidade de hidrogênio. A penetração do material é de alto desempenho, produzindo pequenas quantidades de escória, que se solidifica com rapidez,

tornando-a adequada para utilização em locais com ângulos/posições com maior dificuldade de soldagem (MACHADO, 2007). Segundo MARQUES, MODENESI e BRACARENCE (2011), o cordão de solda não possui bom aspecto, apresentando escamas irregulares, porém as qualidades mecânicas da solda são consideradas boas, exceto a possibilidade de fragilização por hidrogênio, que é presente em elevadas quantidades no material de solda, comparado com as utilizadas em outros tipos de revestimentos.

- Revestimentos oxidantes: são compostos com óxido de ferro, silício e manganês. Possuem baixas propriedades mecânicas no metal de solda e níveis mínimos na penetração. Contém escoria espessa e facilmente destacável (MACHADO, 2007).
- Revestimento básico/ rutículo: é um consumível híbrido, geralmente aplicado na soldagem de aços inoxidáveis. Apresenta uma razão rutilo/carbonato de cálcio entre 1,7 e 3 sempre tendo em sua composição o carbonato (MACHADO, 2007).
- Revestimento rutículo: considerado um “Consumível de uso geral, cujo revestimento apresenta 50% de rutículo, com alguns tipos contendo até 15% de celulose. A penetração é média, com a escória de rápida solidificação e facilmente destacável [...]” (MACHADO, 2007). Confere alta estabilidade ao arco, pequena quantidade de respingos e bom aspecto superficial do cordão. Por fim, apresenta boa resistência mecânica e ductilidade, além de altas taxas de deposição, devido à adição de pó de ferro ao revestimento.

O Quadro 1 cita os principais elementos presentes nos revestimentos e suas funções.

Quadro 1 - Principais elementos presentes no revestimento.

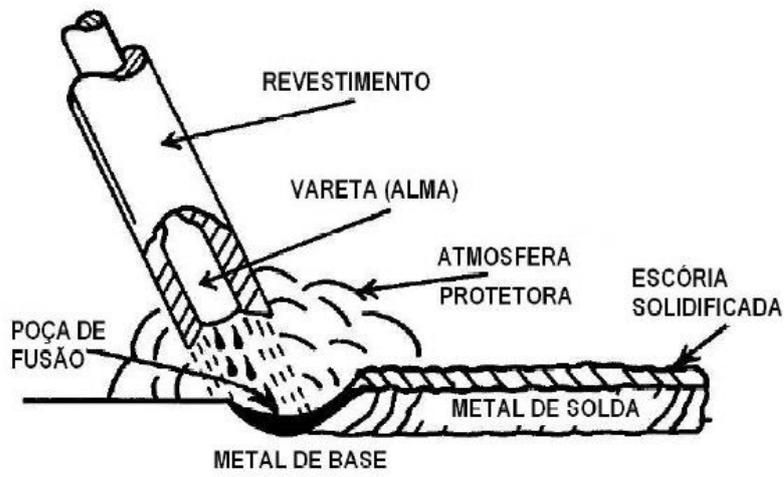
<i>Elementos e secundárias</i>	<i>Fórmula</i>	<i>Funções primárias</i>
Alumina	Al ₂ O ₃	Formar escória; estabilizar o arco.
Argila	Al ₂ O ₃ 2SiO ₂ 2H ₂ O	Ajudar na extrusão; formar escória.
Cal	CaO	Agente fluxante; controlar a viscosidade da escória.
Calcita	CaCO ₃	Controlar a basicidade da escória; gerar gases de proteção.
Fluorita	CaF ₂	Controlar a basicidade da escória; reduzir a viscosidade da escória.
Celulose	(C ₆ H ₁₀ O ₅) x	Gerar gases de proteção; ajudar na extrusão.
Ferro-Manganês	Fe-Mn	Controlar a composição química; promover a desoxidação.
Ferro-Silício	Fe-Si	Promover a desoxidação; controlar a composição química.
Hematita	Fe ₂ O ₃	Promover a oxidação; formar escória.
Magnetita	Fe ₃ O ₄	Promover a oxidação; formar escória.
Silicato de Lítio	Li ₂ SiO ₃	Atuar como agente aglomerante
Silicato de Potássio	K ₂ SiO ₃	Estabilizar o arco; agente aglomerante.
Titanato de Potássio	2K ₂ O 2TiO ₂	Estabilizar arco; formar escória.
Feldspar	K ₂ O Al ₂ O ₃ 6SiO ₂	Formar escória.
Mica	K ₂ O 3Al ₂ O ₃ 6SiO ₂ 2H ₂ O	Ajudar na extrusão; estabilizar o arco.
Dolomita	MgO CaO 2(CO ₂)	Gerar gases; agente fluxante.
Silicato de Sódio	Na ₂ SiO ₃	Agente aglomerante; estabilizar o arco.
Sílica	SiO ₂	Formar escória; controlar a viscosidade.
Rutila	TiO ₂	Reduzir a viscosidade da escória; estabilizar o arco.
Pó de Ferro	-	Aumentar a taxa de deposição e o rendimento do eletrodo; estabilizar o arco.
Zircônio	ZrO ₂	Estabilizar o arco; facilitar destacabilidade da escória

Fonte: Apostila Tecnologia da soldagem, CEFET-MG, 2016.

3.3 Gases de proteção

Durante o processo de soldagem, quando as gotas de metal fundido são transferidas através do arco para a poça de fusão, são protegidas da atmosfera pelos gases produzidos durante a decomposição do revestimento, a fim de evitar possíveis contaminações no cordão de solda. O processo é demonstrado na Figura 2.

Figura 2 - Soldagem com eletrodo revestido.



Fonte: Adaptado de ESAB (2005).

Segundo Paulo Villani Marques (2000), essa atmosfera protetora é proveniente da queima do revestimento do eletrodo. Os gases mais comuns formados durante o processo de soldagem são os carboidratos, hidratos e carbonatos.

Em sua tese, WAINER, BRANDI, MELLO, 1992, expõe os elementos estabilizadores, os quais em resumo são aqueles que se dissociam no arco, produzindo gases de baixo potencial ionizante.

Ainda de acordo com o autor são três os principais gases protetores: monóxido, dióxido de carbono e hidrogênio. O monóxido e o dióxido de carbono, que não são solúveis no metal líquido, entretanto possuem alguma atividade, isto é, tendências a introduzir o carbono e oxidar o banho, e o hidrogênio que tem maior atividade no metal líquido. A grande solubilidade torna o hidrogênio nocivo à soldagem de diversas ligas metálicas, já que aumenta a suscetibilidade à fissura a frio.

3.4 Equipamentos para soldagem com eletrodo

Para efetuar a soldagem, alguns equipamentos são indispensáveis e precisam ser bem escolhidos para garantir a qualidade da solda. São eles: fonte de energia, alicate de fixação dos eletrodos, cabos de interligação, pinça de aterramento da peça, equipamentos de proteção individual (EPI's), cilindro de gás e equipamentos de limpeza da peça.

A fonte de energia do equipamento pode ser escolhida entre três tipos mais comuns, Conversor (CC), Transformador (CA) e Retificador (CC), conforme necessidade de instalação, custo do equipamento e do processo a ser utilizado (J. A. Pomilio, 2014).

Conversor: motor de combustão interna que está ligado em um gerador elétrico e que fornece corrente contínua, sendo ele, de alto custo (em comparação com os outros equipamentos) e que necessita de manutenção constante para manter sua propriedade.

Transformador: possui o menor custo dentre os três equipamentos, sendo o mais barato, mais fácil de ser fabricado e manutenção menos exigida. Sua transformação é monofásica e possui um alto rendimento. A grosso modo, o transformador “estabiliza” a corrente alternada para deixar o mais semelhante possível com uma corrente contínua.

Retificador: é um conjunto de retificadores em série ligados a um transformador na saída.

3.5 Corrente

A corrente influencia diretamente na taxa de deposição do metal de solda, modo de transferência metálica e geometria do cordão. Aumenta-se a taxa de deposição do metal de adição, aumentando a corrente e, conseqüentemente o aporte de calor para o metal de base. Porém, uma corrente muito alta pode ser responsável por gerar descontinuidades e instabilidade do arco durante a deposição, podendo gerar grande quantidade de respingos ou até mesmo furar o metal de base (WAINER; BRANDI; MELLO, 2008). Já uma corrente muito baixa, pode também desestabilizar o arco elétrico, sendo responsável pela falta de penetração e extinção do arco. É importante ressaltar que quando há uma alteração na velocidade de alimentação do arame, a corrente de soldagem varia no mesmo sentido, ou seja, a velocidade influencia diretamente na corrente de soldagem (Giraldo et al, 2009).

Na soldagem por eletrodo revestido, o comprimento do arco na soldagem é controlado manualmente pelo soldador, podendo variar devido ao tipo de superfície que está sendo utilizado o eletrodo ou até mesmo a própria habilidade que o operador possui, fazem com que haja alterações no comprimento do arco de solda durante a

execução do cordão de solda. Por esta razão, fontes de energia com características do tipo "corrente constante" são usadas (MARQUES, MODENESI e BRACARENCE, 2011).

As fontes de corrente constante apresentam uma tensão na ausência de qualquer carga, relativamente elevadas. Porém na presença de uma carga, esta tensão cai rapidamente. Fontes de corrente constante permitem que, durante a soldagem, alcance o comprimento do arco sem que a solda sofra grandes alterações. Eventuais curto-circuitos do eletrodo com o metal de base não causam uma elevação considerável da corrente (MARQUES, MODENESI e BRACARENCE, 2011).

A soldagem com eletrodo revestido pode ser realizada tanto em Corrente Contínua (CC), quanto em Corrente Alternada (CA) sendo que, a utilização da CC possui maiores vantagens em relação a CA.

Polaridade Direta ou Normal (CC-): o consumível é o cátodo (negativo) e a peça a ser fundida é o ânodo (positivo). A alma do eletrodo será a parte mais quente pois realizará o bombardeio de elétrons e a fusão com a peça será mais rápida, ocasionando baixa penetração e maior deposição de metal de fusão durante a soldagem.

Polaridade Inversa ou Reversa (CC+): eletrodo positivo e peça negativa. A peça ficará mais quente por realizar o bombardeio de elétrons e a fusão com o eletrodo será mais lenta, ocasionando alta penetração e menor deposição do metal de fusão durante a soldagem.

Corrente Alternada: está menos suscetível a ocorrer sopros magnéticos (campo magnético irregular) e possibilita uma queda menor da tensão ao longo do cabo. Porém não possui uma boa ignição, tampouco uma boa estabilidade do arco.

3.6 Técnicas de soldagem com eletrodo revestido

Durante a soldagem manual com eletrodos revestidos, a movimentação da extremidade do eletrodo depende, dentre vários fatores, tipo e diâmetro do eletrodo; valor da corrente de soldagem; tensão e comprimento do arco; velocidade de soldagem; dimensões da junta e, em grande parte, a preferência do profissional que está manipulando o processo de soldagem. Não existe uma movimentação correta da extremidade do eletrodo durante o processo de soldagem, processo esse que recebe

o nome de tecimento. Porém uma vez escolhida a intensidade da corrente, a energia de soldagem será mantida através da velocidade de deslocamento do eletrodo (MACHADO, IVAN, 2007).

3.7 Transporte e armazenamento dos eletrodos

O transporte dos eletrodos deve ser realizado sobre “pallets” com auxílio de empilhadeiras, evitando ao máximo danos às embalagens.

O posicionamento dos cartuchos plásticos nos pallets deve ser no sentido horizontal e as latas na posição vertical, preservando as pontas de arco (região mais sensível) posicionando as pontas de pega voltadas para baixo (ALUSOLDA, 2018).

É importante adotar um sistema de rotatividade, mitigando uma manutenção prolongada das embalagens no estoque, reduzindo o efeito do envelhecimento. Dessa forma utiliza-se a técnica do “first-in-first out” que promove a saída dos eletrodos antigos primeiros para utilização (DENVER SOLDAS, 2020).

Segundo o site INFOSOLDA, 2015, o armazenamento dos eletrodos deve ser feito em um compartimento fechado do almoxarifado, seguindo as condições abaixo:

“- A temperatura deve ser de no mínimo 10°C acima da temperatura ambiente e igual ou superior a 20°C;”

“- A umidade relativa do ar deve ser, no máximo, 50%.”

Os eletrodos mantidos nas condições acima, são armazenados em ambientes fechados não necessitando de maiores cuidados, porém no nosso país existem locais em que o ar possui maiores índices de umidade, com isso utiliza-se um desumidificador para manter a umidade atmosférica regulada.

Em regiões com baixa temperatura, como por exemplo a região sul do país, recomenda-se a utilização de aquecedor e ventilador para homogeneização da temperatura. Nesse caso é obrigatório que o armazenamento contenha pelo menos 5°C acima da temperatura ambiente.

Levando em consideração a higroscopicidade, todos os eletrodos devem ser armazenados ainda em suas embalagens originais sem uso, nas condições prescritas sejam eles de revestimento básico ou celulósicos.

De acordo com a FBTS (Fundação Brasileira de Tecnologia da Soldagem), 2022, em relação ao manuseio, armazenamento, secagem e manutenção de secagem são observados os seguintes aspectos:

- Para efeito de aplicação dos requisitos de secagem, as embalagens são consideradas como não estanque;
- Os eletrodos, varetas e fluxos em estoque, devem ser armazenados em estufa;
- A ordem de retirada de embalagens do estoque deve evitar a utilização preferencial dos materiais recém-chegados e, conseqüente, armazenagem prolongada de alguns lotes;
- Os eletrodos devem ser dispostos em prateleiras. Na estufa de secagem, em camada com uma altura não superior a 50 mm e na estufa de manutenção em camada com altura não superior a 150 mm;
- A secagem e manutenção da secagem de fluxos podem ocorrer em dois tipos diferentes de estufas:

1º) Estufa com bandeja: onde a camada de fluxo na bandeja não deve ser superior a 50mm;

2º) Estufa sem bandeja: que deve dispor de dispositivo misturador do fluxo;

De acordo com a ASME, os eletrodos devem ser mantidos no mínimo 1 hora nas estufas térmicas e temperatura controlada de 120 a 180 graus celsius antes de sua utilização, a fim de retirar a possível umidade presente.

Em conclusão, cada tipo de consumível merece um tratamento específico de manuseio e o que dimensiona este tratamento é o grau de higroscopicidade do revestimento do consumível.

3.7.1 Estufas fixas

Estufa para Armazenamento (Estocagem)

Dispõe de um compartimento fechado dentro do almoxarifado, contendo aquecedores elétricos e ventiladores para a circulação do ar quente entre as embalagens, devendo manter uma temperatura de pelo menos 10°C acima da

temperatura ambiente, mas nunca inferior a 20°C, também devem conter estrados e prateleiras para estocar as embalagens (FBTS, 2022).

Estufa para Secagem

Esse tipo de estufa, mostrada na Figura 3, é utilizado para a secagem de eletrodos revestidos e fluxos de baixo hidrogênio. Deve conter o aquecimento controlado, através da resistência elétrica e renovação do ar, por meio da convecção controlada.

Possuem pelo menos dois instrumentos controladores de temperatura como o termostato e o termômetro, e as prateleiras em forma de grade ou furadas. Para eletrodos revestidos de baixo hidrogênio, a estufa deve manter a temperatura de até 400°C (FBTS, 2022).

Figura 3 - Estufa para secagem.



Fonte: O autor, 2022.

Estufa para Manutenção da Secagem

Esse tipo de estufa é normalmente menor do que a estufa para secagem, tendo os mesmos requisitos de funcionamento, exceto a temperatura, que deve atingir até 200°C.

As estufas de manutenção de secagem possuem formato cilíndrico, conforme Figura 4, tendo como objetivo facilitar a circulação do ar e uniformizar a distribuição do calor, impedindo que a umidade se concentre em cantos mal ventilados como nas

estufas retangulares ou quadradas. Neste tipo de estufa o termostato se encontra na parte traseira.

Figura 4 - Estufa para manutenção da secagem.



Fonte: O autor, 2022

3.7.2 Estufa portátil de manutenção da secagem

A estufa portátil da Figura 5 também deve possuir aquecimento por meio de resistências elétricas e ter condições de acompanhar cada soldador individualmente. No caso dos eletrodos revestidos de baixo oxigênio, a temperatura da estufa deve ficar entre 80 e 150°C. O estado de conservação das estufas portáteis deve ser periodicamente verificado, juntamente com o estado das conexões elétricas com a rede de energia (FBTS, 2022).

Figura 5 – Estufa portátil de manutenção da secagem.



Fonte: Abrafer, 2022.

3.8 Influência da umidade dos eletrodos revestidos na soldagem

Os revestimentos dos eletrodos possuem elementos químicos com características de natureza higroscópica, que fazem com que ele absorva umidade do ambiente e conseqüentemente elevam os níveis de hidrogênio no metal de solda. A taxa de absorção varia de acordo com as condições ambientais e a umidade relativa do ar (GRANVILLE, 1967).

O excesso de hidrogênio no processo de soldagem, representa um dos problemas mais comuns em estruturas de aço soldáveis. Durante a soldagem, a alta energia consumida durante o derretimento do eletrodo, dissolve a molécula de água (H₂O). Após isso, a molécula de hidrogênio é incorporada a poça de fusão, fazendo com que surjam trincas e possíveis colapsos estruturais (DAVIDSOM, 1995).

Os defeitos mais comuns em soldas com eletrodo úmido são: respingos, porosidade, mordedura e trincas.

Segundo a AWS D1.1 o tempo máximo de exposição indicado pode ser excessivo em alguns casos (função do material de base, umidade relativa, espessura e grau de restrição). O Quadro 2 especifica o tempo máximo de exposição atmosférica para eletrodos de baixo hidrogênio.

Quadro 2 - Tempo máximo de exposição para eletrodos de baixo hidrogênio.

Classificação do eletrodo	Tempo máximo, h
E70XX	4
E80XX	2
E90XX	1
E1XXXX	0,5

Fonte: O autor, 2022.

Em resumo, pode-se dizer que um nível excessivo de umidade absorvida pelo revestimento do eletrodo pode causar a(s) seguinte(s) complicação (ões):

- Porosidade no metal de solda;
- Respingos excessivos;
- Dificuldade na abertura e manutenção do arco;
- Má conformação do cordão de solda;
- Fissuração por hidrogênio.

3.9 Ensaios não destrutivos

Para determinar as propriedades mecânicas de um material metálico são realizados vários ensaios. Geralmente esses ensaios são destrutivos, pois promovem a ruptura ou a inutilização do material. Existem ainda os ensaios chamados não destrutivos, utilizados para determinação de algumas propriedades físicas do metal, bem como detectar falhas internas do mesmo (SOUZA, 2000).

Como ideia inicial, serão realizados neste trabalho os ensaios de visual e líquido penetrante para verificar a integridade das soldas e comparar os corpos de prova soldados com eletrodos em diferentes condições de armazenamento.

3.9.1 Ensaio visual

De acordo com a Abendi, o ensaio visual é um processo não destrutivo com o objetivo de avaliar as condições ou qualidade de uma solda e uma rápida e econômica forma de detecção de defeitos ou descontinuidades. A inspeção visual requer boa visão, boa condição de iluminação (mínimo 1000 lux) e experiência no

reconhecimento de defeitos e/ou descontinuidades, e deve ser realizado por um inspetor qualificado.

O ensaio pode ser realizado de forma isolada ou ser complementado por outro método. Deve ser utilizado para detectar defeitos de geometria, antes da soldagem; garantir que os padrões estabelecidos estão sendo cumpridos durante a soldagem; e após a soldagem, para detectar descontinuidades geradas durante o processo (MODENESE, 2001).

Para realização do ensaio após a soldagem, a superfície da peça deve ser preparada corretamente, removendo qualquer resíduo que possa impedir a detecção de possíveis descontinuidades e/ou defeitos. Dependendo do estado da superfície, a preparação é realizada com materiais/métodos diferentes, conforme o Quadro 3.

Quadro 3 - Tipos de preparação da superfície para realização do ensaio visual.

Estado da superfície	Preparação
Superfície Oxidada	Escovamento manual
Superfície com escória, respingo, abertura de arco	Esmerilhadeira
Superfície com graxa, óleo, tinta, produto químico	Limpeza com solvente (thinner)

Fonte: O autor, 2022.

Durante a inspeção visual e dimensional de juntas soldadas, deve ser observada a existência de descontinuidades conforme Quadro 4.

Quadro 4 - Tipos de descontinuidades que podem ser encontradas durante inspeção visual.

Descontinuidade	Identificação	Foto
Trinca	T	
Falta de Fusão	FF	

Quadro 5 - Tipos de descontinuidades que podem ser encontradas durante inspeção visual (Continuação).

Falta de Penetração	FP	
Deposição Insuficiente	DI	
Porosidade	PO	
Mordedura	M	
Sobreposição	S	
Abertura de Arco	AA	
Respingo	R	

Fonte: O autor, 2022.

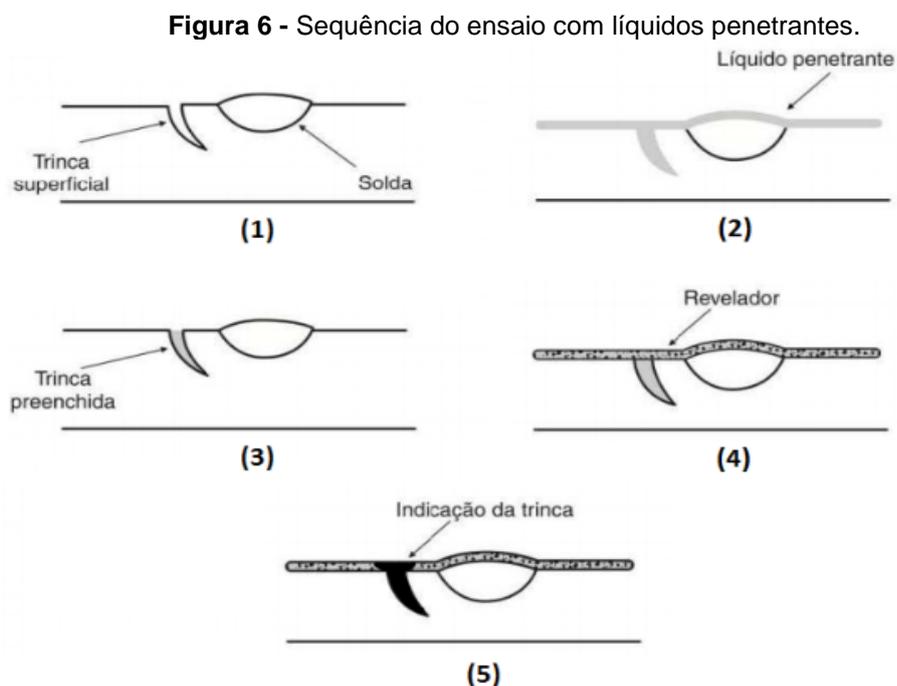
3.9.2 Ensaio líquido penetrante

O ensaio de líquido penetrante foi desenvolvido no início da década de 1940 – era industrial, não se tinha conhecimento do comportamento das descontinuidades existentes nos materiais. E quando submetidos à esforços de tração, compressão, flexão e, principalmente esforços cíclicos, acabavam se rompendo por fadiga.

Segundo Andreucci (2014), o processo de ensaio por líquido penetrante faz uso de líquidos que possuem a capacidade de penetrar em materiais ferrosos ou não ferrosos com a finalidade de detectar falhas na superfície através da ação da capilaridade, no qual o fluido se desloca por curtos espaços existentes, denominado poros. A sequência do ensaio é representada na Figura 6.

Atualmente no mercado existem várias marcas, entretanto todas possuem duas características de utilização distintas. Podendo ser: fluorescente ou não fluorescente.

Os líquidos penetrantes fluorescentes são utilizados em ambientes com pouca luminosidade e líquido penetrante colorido utilizado em ambientes onde há alta luminosidade (ANDREUCCI, 2014).



Fonte: Garcia, Spim e Santos (2012), adaptado.

De acordo com a Abendi (2022), as condições de preparação do ensaio e seu procedimento de aplicação, seguem a seguinte sequência:

1. "A inspeção deve cobrir 100% da solda e, no mínimo, mais 25 mm adjacentes para cada lado da solda."

2. O ensaio realizado a luz visível, deve ter intensidade de luz branca de 1000 lux na superfície da peça durante todo o ensaio através do penetrante colorido. Sendo que essa intensidade deve ser verificada com um luxímetro calibrado.

3. As superfícies devem estar livres de impurezas, como graxa, óleo, óxidos, respingos, escórias, particulados, etc. A preparação da superfície deve ser realizada por escovamento ou esmerilhamento, seguida de limpeza com solvente. O tempo mínimo se secagem do solvente não deve ser inferior a 5 minutos, feita por evaporação normal.

4. O penetrante de corante visível é aplicado na amostra de teste por meio de aspensão devido ao tamanho e formato da peça de teste. É mantido na superfície por um tempo de penetração de 10 minutos, denominado tempo de permanência do penetrante. Sendo possível detectar, no caso de aço carbono de baixa liga, porosidade, falta de fusão e trincas.

5. Após o tempo de espera, é removido o excesso de líquido penetrante de forma cuidadosa para evitar a remoção de qualquer um dos penetrantes capturados da falha ou defeito.

6. Uma fina camada de revelador úmido é aplicada por aerossol na superfície de forma a revelar as discontinuidades presentes no corpo de prova. E a interpretação final do ensaio deve ser efetuada 20 minutos após a aplicação do revelador.

7. O processo de inspeção deve ser conduzido por inspetores qualificados, e as indicações devem ser avaliadas conforme critério de aceitação dos requisitos gerais para inspeção em serviço.

4. METODOLOGIA

Basicamente, foram separados dois grupos de eletrodos, os que permaneceram em estufa/ cochicho, armazenados corretamente com temperatura controlada, que, de acordo com as normas técnicas, deve ser no mínimo 1 hora antes de ter início ao processo de soldagem com uma temperatura controlada entre 120 a 180 graus celsius; e outros que foram expostos ao ambiente externo, durante o período de 1 semana, com o propósito de absorver umidade e outras variantes externas, que retirem as características de fabricação e soldabilidade do eletrodo. Nesta parte do trabalho será discutido sobre orientações de segurança e de operação, materiais e métodos utilizados e ensaios realizados.

4.1 Orientações de segurança

Durante a soldagem para realização do experimento, é essencial que os aspectos relacionados à segurança do operador e pessoas ao redor sejam considerados. Afinal, é um processo que envolve gases, eletricidade e calor, e qualquer incidente pode ser muito prejudicial. Alguns riscos presentes na soldagem são: contato com fumo da soldagem, que pode gerar irritação, doenças pulmonares, de pele e/ou neurológicas; choque elétrico; incêndio; ruídos; clarão do arco elétrico, que pode causar até cegueira.

Para minimizar os riscos, é relevante ressaltar a importância do uso dos EPI's que foram utilizados pelo soldador, por exemplo: máscara protetora, luva, óculos de proteção, protetor auricular e avental. Além disso, é essencial manter o local sempre ventilado, para não haver acúmulo de gases.

4.2 Orientações operacionais

Para realizar a soldagem, existem algumas posições comuns que servem de orientação para uma melhor realização do processo. São elas: Soldagem Plana, Horizontal, Vertical Ascendente, Vertical Descendente e Sobre cabeça.

A qualidade do cordão de solda também pode ser garantida através da correta inclinação do eletrodo durante a execução da soldagem. Para cada posição, existe

um padrão de inclinação que é importante ser respeitado. Isso porque, a utilização dos eletrodos com inclinação incorreta pode causar a inclusão não apropriada de escória, mordeduras, desigualdade nas pernas dos filetes, recobrimento, descontinuidades, porosidade, entre outros desvios.

Outro fator importante que deve ser observado e melhorado durante o processo, refere-se à oscilação dos eletrodos, que pode ser da esquerda para a direita ou vice-versa, em forma de arco. Esse movimento faz com que os filetes de solda se assemelhem a escamas de peixe e, reduz o surgimento de mordeduras e porosidade durante a execução.

4.3 Materiais e métodos

Os materiais utilizados nesta etapa foram doados por empresas da indústria siderúrgica e naval. Os principais itens utilizados e os processos que foram desenvolvidos durante o trabalho serão descritos nesta etapa.

Eletrodo

A composição química do metal de adição AWS A5.1 E7018 utilizado é mostrada no Quadro 5.

Quadro 6 - Composição Química do eletrodo E7018.

Elemento	Concentração máxima (%)
Carbono	0,07
Silício	0,50
Manganês	1,30

Fonte: O autor, 2022.

Figura 7 - Eletrodos AWS A5.1 E7018.



Fonte: O autor, 2022

Líquido penetrante

A Figura 8 mostra o penetrante utilizado na superfície do CP posteriormente à limpeza prévia, para penetração nas descontinuidades. Principais características do produto utilizado no ensaio: marca SPOTCHECK® SKL-WP, tipo II (ensaio com penetrante colorido), método de aplicação A (lavável à água), aplicável às normas AMS 2644 EN ISO 3452-2, Petrobras N-2370; N-1596. Composição química: solvente de composição orgânico. Lote 1901001389/SQ, fabricado em 02/2019 e validade até 02/2024.

Figura 8 - Líquido Penetrante.



Fonte: O autor, 2022.

Revelador

A Figura 9 mostra o revelador utilizado no ensaio para evidenciar penetrante incluso nas discontinuidades. Principais características do produto utilizado no ensaio: marca SPOTCHECK® SKD-S2, tipo não aquoso, aplicável às normas: AMS 2644, ISO 3452-3, Petrobrás N2370/N1596. Temperatura de aplicação: 5 a 52 °C. Produto biodegradável (não afeta a camada de ozônio). Lote 2101009961/SQ, fabricado em 12/2021 e validade até 12/2026.

Figura 9 - Revelador.



Fonte: O autor, 2022.

Escova de aço

A Figura 10 mostra a escova com cerdas metálicas e cabo de madeira utilizada no processo de limpeza.

Figura 10 - Escova manual.



Fonte: O autor, 2022.

Paquímetro

A Figura 11 mostra o paquímetro utilizado para medições dos CP's. Paquímetro com Capacidade 150mm / 6" Stanley 78-201; resolução: 0.0254 mm / 0.001".

Figura 11 - Paquímetro 150mm.



Fonte: O autor, 2022.

Máquina De Solda

A Figura 12 mostra a máquina de solda utilizada no processo de soldagem dos CP's. Marca: Power Max 2500; tensão de entrada de 220 volts; corrente máxima de 26 amperes.

Figura 12 - Máquina de solda.



Fonte: O autor, 2022.

Esmerilhadeira

Esmerilhadeira angular conforme Figura 13. Marca: BOSCH-GWS-850; potência: 850W; rotações por minuto: 11.000.

Figura 13 - Esmerilhadeira Bosch.



Fonte: O autor, 2022.

Estufa portátil – Cochicho

O cochicho utilizado é mostrado na Figura 14. Capacidade: 3 Kg; temperatura cca: 120° C; voltagem +- 80V arco; potência: 150W; comprimento dos eletrodos: 350mm/450mm.

Figura 14 - Estufa portátil - cochicho.

Fonte: O autor, 2022.

Corpo de prova

O metal de base utilizado foi o aço 1020, composto de carbono, ferro, manganês e silício. Este oferece flexibilidade e, por isso é fácil de manipular na soldagem. A sua composição química é mostrada no Quadro 6.

Quadro 7 - Composição Química do metal de base.

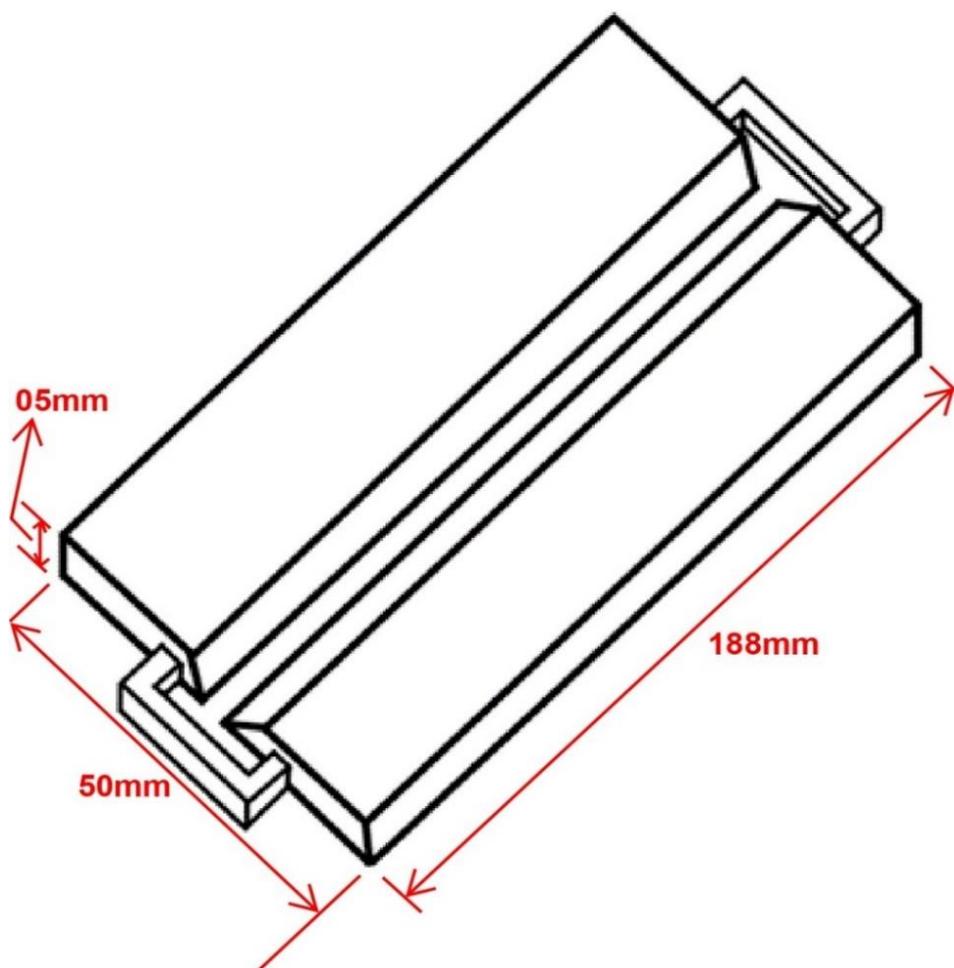
Elemento	Concentração (%)
Carbono	0,18 a 0,23
Manganês	0,30 a 0,60
Enxofre	0,05 (máx)
Fósforo	0,014 (máx)
Ferro	Balanço

Fonte: O autor, 2022.

Para a fabricação dos Corpos de Prova primeiramente foi utilizado o paquímetro e um esquadro para centralizar e marcar o centro da chapa metálica. Em seguida, foi cortada ao meio, utilizando uma esmerilhadeira de 4.1/2 Polegadas. Ainda usando a esmerilhadeira, foi feito um bisel/chanfro de $37,5^\circ$ (Com tolerância de $\pm 2,5$), para que a solda penetrasse na espessura da chapa. Além disso, foi realizada a limpeza da superfície, de forma a retirar qualquer impureza presente que pudesse

afetar a qualidade da solda (e o experimento), utilizando uma escova manual. Por fim, as frações dos corpos de prova foram travadas com o auxílio de chapas menores soldadas na lateral do CP. A figura 15 representa o desenho esquemático do CP pronto para soldagem.

Figura 15 - Desenho esquemático do corpo de prova.



Fonte: O autor, 2022.

Para realização da solda, cada CP foi preso com a ajuda de uma morsa de bancada 4", onde um operador qualificado e equipado de acordo com as normas da NR18, utilizou uma máquina de solda em uma tensão de 220V e amperagem de 75A para enraizar e fazer o enchimento da solda, para não haver oscilação no grau da

peça devido ao resfriamento da solda, e manter um padrão de abertura entre as partes durante o processo de soldagem.

Durante a soldagem do CP com eletrodo fora da estufa, o soldador relatou dificuldades quanto à abertura e manutenção do arco, ocasionadas principalmente devido à umidade presente no revestimento. Além disso, observou-se que os eletrodos estavam frágeis e quebradiços.

4.4 Processos de inspeção do cordão de solda

Os cordões gerados foram inspecionados a fim de avaliar suas características e qualidade. Para realização desta etapa, foram utilizados ensaios não destrutivos (Inspeção Visual e Líquido Penetrante), tendo em vista os ensaios disponíveis e acessíveis.

4.4.1 Ensaio por inspeção visual

Foi realizado o ensaio visual na junta soldada através do método direto, sem a utilização de instrumento ótico. Seguindo orientações das normas: Petrobras N-1597 (2013); o procedimento utilizado no ensaio visual, foi realizado através da visão direta à área sob análise com uma distância de 700mm e a um ângulo não inferior a 30°, utilizando uma lâmpada fluorescente de 100 W.

4.4.2 Ensaio por líquido penetrante

O ensaio foi realizado por inspetor N1 – Abendi, seguindo as instruções de segurança e manuseio da FISPQ (Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico) de cada produto utilizado (Penetrante e Revelador). Primeiramente, a superfície foi preparada com o auxílio de uma escova manual, retirando qualquer impureza que pudesse impedir a penetração do líquido nos possíveis interstícios formados da superfície do cordão de solda. Em seguida foi aplicado o penetrante de cor visível por meio de pincel. Após o tempo de 10min, foi removido o excesso de líquido penetrante com água e a peça foi totalmente seca utilizando trapo branco. Foi aplicado uma fina camada de revelador úmido em toda a superfície da solda. Por fim,

após 20min, foi realizada a interpretação final do ensaio pelo inspetor que abordaremos nos resultados e discussões a seguir.

Figura 16 - Corpos de prova após a soldagem.



Fonte: O autor, 2022.

Figura 17 - Corpos de prova com aplicação do Líquido Penetrante.



Fonte: O autor, 2022.

Figura 18 - Corpos de prova com aplicação do Revelador.



Fonte: O autor, 2022.

4.5 Teste de abertura de arco

O teste de abertura de arco foi realizado com o intuito de verificar/avaliar o efeito da umidade do eletrodo na operação de soldagem. Para isso separamos dois grupos de eletrodos:

- 6 eletrodos fora da estufa por 4h;
- 6 eletrodos armazenados na estufa sob temperatura controlada (120°C a 180°C) até o momento do teste.

Figura 19 - Teste com eletrodo fora da estufa.



Fonte: O autor, 2022.

Figura 20 - Teste com eletrodo armazenado em estufa.



Fonte: O autor, 2022.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta etapa será feita a análise dos ensaios realizados nos corpos de prova, e a partir disso será confirmada ou refutada a hipótese inicial.

5.1 Análise do ensaio visual

A Figura 21 mostra o corpo de prova soldado com eletrodo armazenado fora da estufa. Pode-se perceber que foi gerado grande quantidade de respingos (demarcados na figura) durante a soldagem, devido ao acúmulo de umidade presente no revestimento do eletrodo. Além de má sobreposição e espalhamento do cordão de solda em decorrência do mal acondicionamento.

Figura 21 - Ensaio visual - Corpo de Prova 01.



Fonte: O autor, 2022.

Já o corpo de prova da Figura 22, soldado com o eletrodo em condições adequadas de armazenamento (mantido em estufa com temperatura de 180°C), teve como resultado uma solda praticamente livre de respingos e um acabamento com melhor aspecto visual.

Figura 22 - Ensaio visual - Corpo de Prova 02.

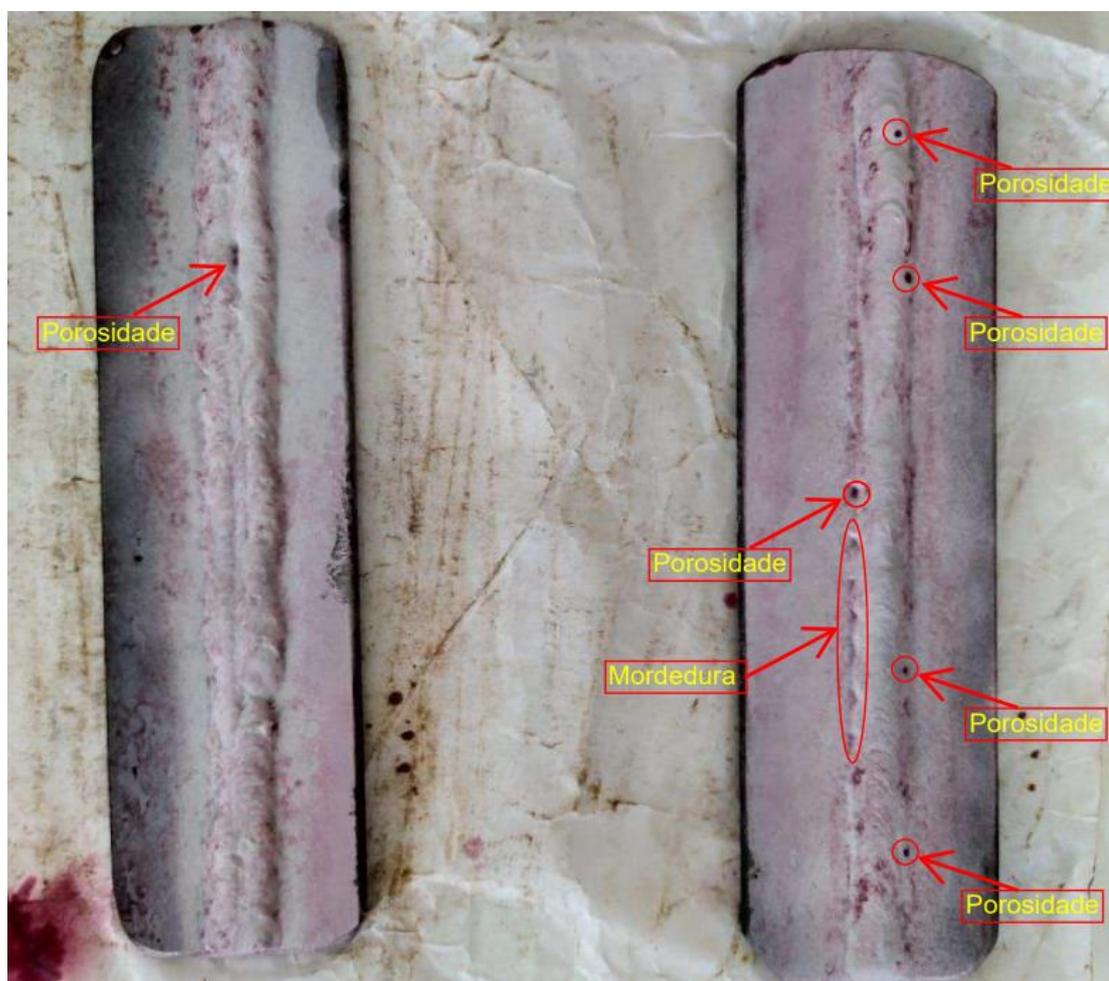


Fonte: O autor, 2022.

5.2 Análise do ensaio líquido penetrante

No ensaio de líquido penetrante foi observado uma menor quantidade de poros no CP 01 (soldado com eletrodo fora da estufa) e porosidade e mordeduras no CP 02 (armazenado corretamente), conforme indicado na Figura 23.

Figura 23 - Ensaio de LP nos CP's 01 e 02.



Fonte: O autor, 2022.

Para melhor visualização das discontinuidades e suas respectivas posições, utilizamos a folha de Mapeamento Longitudinal de Descontinuidades retirada da Abendi. O mapeamento para cada CP pode ser visualizado na seção de apêndices.

5.3 Análise do teste de abertura de arco

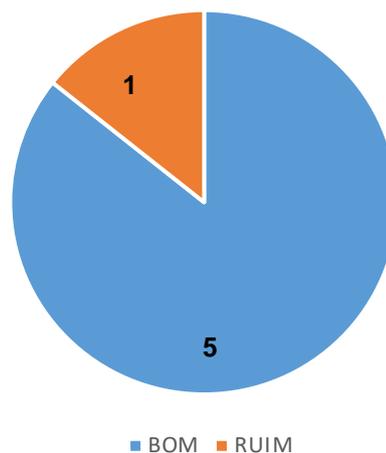
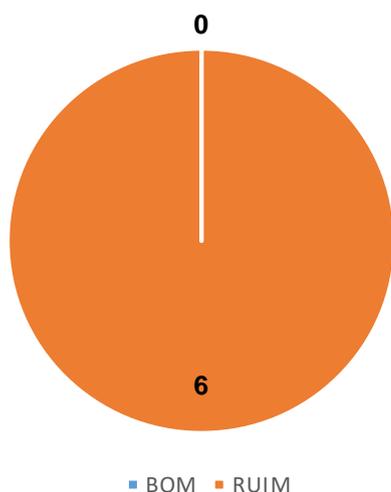
A partir da análise dos dados obtidos com os testes práticos de abertura de arco de solda, foi constatado que os eletrodos expostos à umidade tiveram dificuldade de abertura de arco, tendo 100% dos eletrodos utilizados uma maior resistência em abrir e manter o arco, como demonstrado no Gráfico 1.

Já os eletrodos que estavam armazenados corretamente na estufa, com temperatura controlada entre 120 e 180 °C, tiveram um bom resultado nos testes, onde 83,33% abriram o arco de solda com facilidade, apresentado no Gráfico 2.

Fica nítido que, além de proporcionar melhor qualidade da solda, a utilização da estufa para secagem dos eletrodos traz mais rapidez no processo de soldagem, e conseqüentemente aumento da produtividade, tendo em vista a facilidade para abertura do arco.

Os gráficos 1 e 2 representam a facilidade de abertura de arco, sendo que “BOM” corresponde a eletrodos que tiveram excelente abertura e manutenção do mesmo, e “RUIM” representa um desempenho de abertura de arco inferior.

Gráfico 1 - Eletrodos armazenados incorretamente. **Gráfico 2** - Eletrodos armazenados corretamente.



Na soldagem em geral, e em aços estruturais em particular, é sempre desejável que as condições de soldagem apresentem boa estabilidade operacional e alta produtividade, condizentes com a qualidade superficial e resistência mecânica, e livres de defeitos e descontinuidades ao longo do cordão de solda.

Para o ensaio realizado, foi utilizado para comparação o trabalho de conclusão de curso sobre ANÁLISE COMPARATIVA DO CORDÃO DE SOLDA GERADO PELOS PROCESSOS DE SOLDAGEM FCAW E SMAW NA SOLDAGEM DE AÇOS DE BAIXO TEOR DE CARBONO, GULLIVER, 2016 que foi observada uma menor quantidade de respingos nas soldas com alta ES, caracterizando um aumento da estabilidade operacional decorrente da elevação da densidade de corrente fornecida à peça. Destacando-se, portanto, que uma boa abertura de arco é essencial para melhor condicionamento da peça e melhor performance de trabalho por parte do operador, tendo maior produtividade

6. CONCLUSÃO

Este trabalho se propôs a analisar a influência do uso da estufa na soldagem com eletrodo revestido E7018. Após estudo do referencial teórico, cumprimento dos passos especificados na metodologia e análise dos resultados, foi concluído que:

- As amostras soldadas utilizando os consumíveis armazenados corretamente não apresentaram falha na abertura do arco, o que mostra a importância da utilização da estufa para armazenamento dos eletrodos.
- Os eletrodos que estavam em contato com a umidade tiveram grande dificuldade de abertura e estabilização do arco de solda. Isso faz com que gere perda de material, estresse ao soldador e perda de produtividade no processo.
- A solda realizada com o eletrodo fora da estufa obteve aspecto visual inferior ao do corpo de prova soldado com eletrodos armazenados corretamente.
- Ao realizar o ensaio superficial não destrutivo de líquido penetrante a hipótese inicial foi refutada, pois foram notadas maiores quantidades de poros e mordeduras na solda com eletrodos armazenados na estufa.

Por fim, embora o ensaio de líquido penetrante não ter apresentado grande diferença quanto a descontinuidades superficiais, a utilização do eletrodo sem o devido armazenamento mostra na dificuldade de abertura de arco um problema que pode impactar diretamente no desempenho do soldador e do processo em geral, gerando estresse e conseqüentemente baixa produtividade.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Para obtenção de melhores resultados sugere-se que sejam realizados ensaios adicionais: Metalografia e dobramento no cordão de solda para cada uma das condições de soldagem.
- Encoraja-se estudos mais aprofundados através da obtenção de mais amostras.
- Avaliar o teor de umidade contida no revestimento dos eletrodos básicos de baixo hidrogênio em função dos parâmetros de ressecagem, temperatura e tempo.

8. REFERÊNCIAS

ABENDI (Brasil). Guia Abendi 2018. Disponível em: <<http://www.abendi.org.br/abendi/>>. Acesso em: 19 out. 2022.

Abrafer. Disponível em: <https://www.abrafer.com.br/produto/estufa-portatil-para-armazenagem-de-eletrodos-ecg-45-3kg-74500>. Acesso em 28 nov. 2022.

CÉSAR, Paulo. Cuidados Importantes Para se Tomar com Eletrodos Revestidos. Alusolda, 2018. Disponível em: <<https://alusolda.com.br/3-cuidados-importantes-para-se-tomar-com-eletrodos-revestidos/>>. Acesso em: 15 ago. 2021.

AMERICAN WELDING SOCIETY. AWS D1.1. Structural welding code: steel. Miami: AWS, 2006.

DAVIDSON, J. L. – “Hydrogen -induced cracking of – low carbon low allow steel weldments. “Materials Forum”, 1995.

Denver Soldas. Denversa, 2020. Disponível em: <https://www.denversa.com.br/adm_site/files/infotecnica/arquivo/3/Armazenamento%20e%20Ressecagem_2020.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2021.

FELIZARDO, IVANILZA. Tecnologia da soldagem. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2016.

FUNDAÇÃO BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DA SOLDAGEM. FBTS, 2022. Manuseio de Consumíveis de Soldagem. Disponível em: <http://fbts.org.br/dcq/soldagem/IICE004_Manuseio_de_Consumiveis_de_Soldagem.pdf> . Acesso em: 11 out. 2022.

GARCIA. A.; SPIN. J. A.; SANTOS. C. D. S. Ensaio dos materiais. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

GIMENES, Luiz; RAMALHO, José. Processo de Soldagem Eletrodo Revestido. Núcleo Tecnológico de Soldagem e Qualidade - Módulo I – 6. São Paulo/SP, 2002.

GIRALDO, J. MUÑOZ, D., ARISTIZÁBAL, S., SUÁREZ, J., ARBELÁREZ, A., URIBE, D. Construcción de curvas de corriente de soldadura contra velocidad de alimentación de alambre para El proceso GMAW. Dyna, vol. 76, n. 157, p. 205-212. mar. 2009.

GRANVILLE, B.A; BAKER, R.G & WATKISON, F.- effect of temperature and strain rate on hydrogen embrittlement of stell. “British Welding Journal”, 1967.

HOULDCROFT, P.T.; Welding Process Technology. Cambridge University Press, London, 1979.

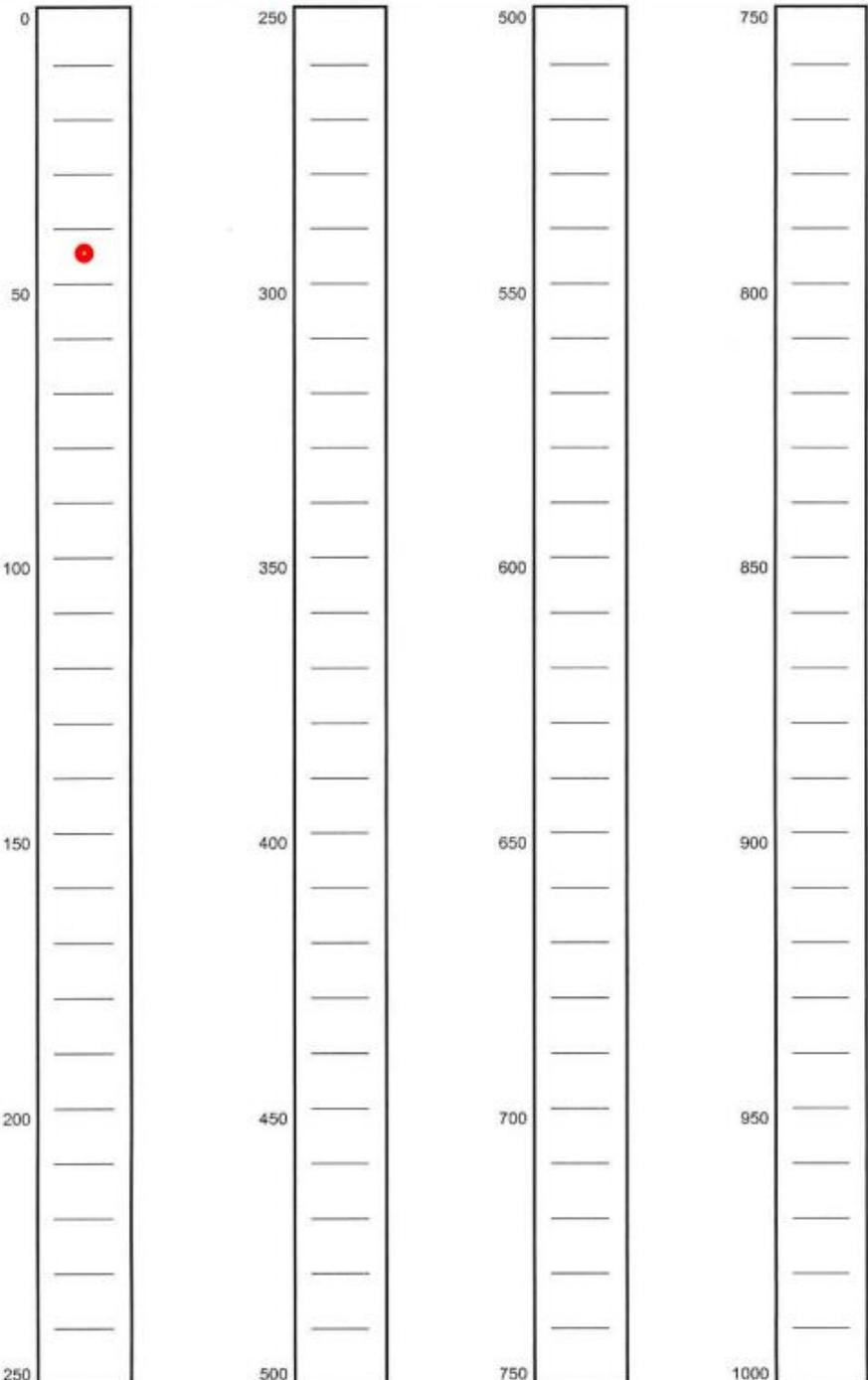
Info Solda. Dicas Soldor – Armazenamento de Consumíveis. Info Solda, 2015. Disponível em: <<https://infosolda.com.br/902-dicas-soldor-armazenamento-de->

WAINER, E.; BRANDI, S. D.; MELLO, F. D. H. Soldagem: Processos e Metalurgia. São Paulo, Editora Bluncher, 2008.

APÊNDICE A - MAPEAMENTO LONGITUDINAL DE DESCONTINUIDADES (CP 01)

		Mapeamento Longitudinal da descontinuidades		RELATÓRIO N.º N/A	
				FOLHA: N/A de N/A	
Líquido Penetrante:	Tipo: <input type="checkbox"/> I <input checked="" type="checkbox"/> II	Técnica: <input checked="" type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> D	
Corpo de Prova n.º 01	<input checked="" type="checkbox"/> Junta de ângulo	<input type="checkbox"/> Chapa Plana	<input type="checkbox"/> Tubo		

0	250	500	750
50	300	550	800
100	350	600	850
150	400	650	900
200	450	700	950
250	500	750	1000



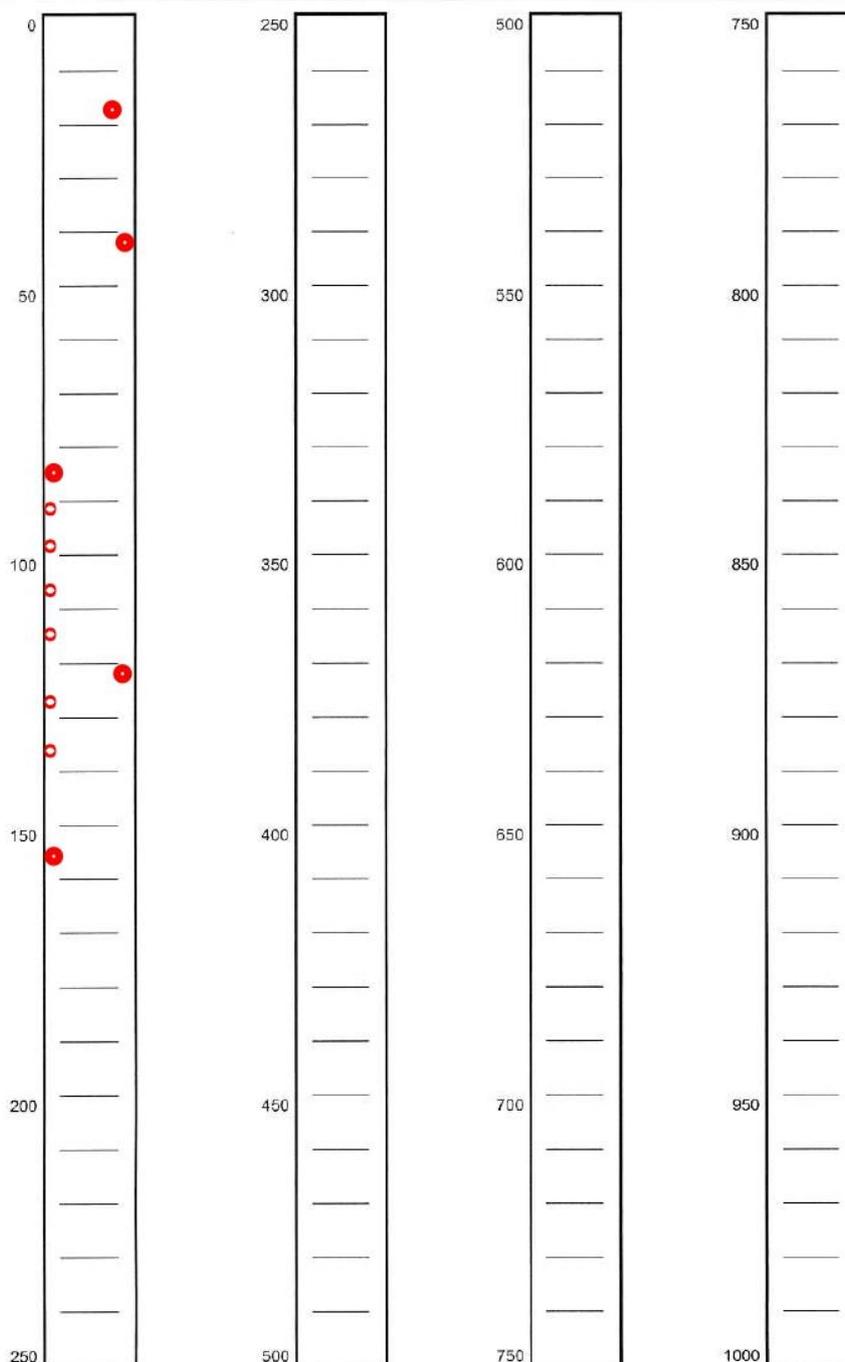
APÊNDICE B - MAPEAMENTO LONGITUDINAL DE DESCONTINUIDADES (CP 02)



Mapeamento Longitudinal da
descontinuidades

RELATÓRIO N.º N/A
FOLHA: N/A de N/A

Líquido Penetrante: Tipo: I II Técnica A B C D
Corpo de Prova nº 02 Junta de ângulo Chapa Plana Tubo



ANEXO A – FISPQ REVELADOR NÃO AQUOSO

METAL-CHEK	FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO
Nome do produto: revelador não aquoso	
Código interno de identificação do produto: Metal-Chek D 70 aerossol propelente Hi	

1. IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO E DA EMPRESA**Nome do produto:** revelador não aquoso.**Código interno de identificação do produto:** Metal-Chek D 70 aerossol propelente hidrocarboneto.**Aplicação:** detecção de descontinuidades por meio de ensaio não destrutivo.**Nome da empresa:** Metal-Chek do Brasil Indústria e Comércio Ltda.**Endereço:** Rua das Indústrias, 135 – Distrito Industrial IV – CEP 12926-674 – Bragança Paulista – SP**Telefone para contato:** (11) 3515-5287**Telefone para emergências:** (11) 3515-5287**Fax:** (11) 3515-5287**E-MAIL:** qualidade@metalchek.com.br**SITE:** www.metalchek.com.br**2. IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS****ATENÇÃO****Perigos:**

- Gás inflamável
- Contém gás sob pressão: pode explodir sob efeito de calor
- Pode provocar sonolência ou vertigem
- Pode ser nocivo se ingerido
- Provoca irritação moderada à pele
- Provoca irritação ocular

Precauções:

- Armazene em local fresco/baixa temperatura (5 – 40 °C), em local bem ventilado, seco e afastado de fontes de calor e ignição.
- Quando em uso, mantenha afastado do calor (faíscas, chamas, superfícies quentes, cigarros acessos).
- Quando em uso, evite acúmulo de cargas eletrostáticas.
- Use EPI adequado (luvas de proteção, roupas de proteção, proteção ocular e proteção facial).
- Quando em uso, não fume, coma ou beba.
- Se lavar cuidadosamente após manuseio.
- Caso sinta indisposição, procure atendimento médico.
- Evite inalar gases/vapores/aerossóis
- Mantenha na embalagem original. NÃO FURE A LATA.

Avisos adicionais:

- Produto destinado somente a uso industrial, por pessoal qualificado conforme as normas técnicas aplicáveis.
- Conserve longe do alcance de crianças

Data da última revisão: 14/09/2015

Identificação do documento: OD-QUA-205

Analisado criticamente e aprovado por: Marcel Alvarenga

Número da revisão: 05

Página 1 de 7

ANEXO B – FISPQ LÍQUIDO PENETRANTE VISÍVEL LAVÁVEL A ÁGUA

METAL-CHEK	Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico
Nome do produto: líquido penetrante visível lavável à água	
Código interno de identificação do produto: Metal-Chek VP 30 aerossol propelente HI	
<p>1. IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO E DA EMPRESA</p> <p>Nome do produto: líquido penetrante visível lavável à água.</p> <p>Código interno de identificação do produto: Metal-Chek VP 30 aerossol propelente HI (VP 30 HI).</p> <p>Aplicação: detecção de descontinuidades por meio de ensaio não destrutivo.</p> <p>Nome da empresa: Metal-Chek do Brasil Indústria e Comércio Ltda.</p> <p>Endereço: Rua das Indústrias, 135 – Distrito Industrial IV – CEP: 12926-674 - Bragança Paulista - SP</p> <p>Telefone para contato: (11) 3515-5287</p> <p>Telefone para emergências: (11) 3515-5287</p> <p>FAX: (11) 3515-5287</p> <p>E-MAIL: qualidade@metalchek.com.br</p> <p>SITE: www.metalchek.com.br</p>	
<p>2. IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>Categoria 1</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Categoria 2 PERIGO</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Categoria 3</p> </div> </div> <p>Perigos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aerossol extremamente inflamável (H222) - Recipiente pressurizado: pode romper se aquecido (H229) - Contém gás sob pressão: pode explodir sob ação do calor (H280) - Pode provocar sonolência ou vertigem (H336) - Pode ser nocivo se ingerido (H303) - Provoca irritação moderada à pele (H316) - Provoca irritação ocular (H320) <p>Precauções:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Armazene em local fresco/baixa temperatura (5 – 40 °C), em local bem ventilado, seco e afastado de fontes de calor e ignição. - Quando em uso, mantenha afastado do calor (faíscas, chamas, superfícies quentes, cigarros acesos). - Quando em uso, evite acúmulo de cargas eletrostáticas. - Use EPI adequado (luvas de proteção, roupas de proteção, proteção ocular e proteção facial). - Quando em uso, não fume, coma ou beba. - Se lavar cuidadosamente após manuseio. - Caso sinta indisposição, contate um centro de informação toxicológica/médica. - Evite inalar gases/vapores/aerossóis - Mantenha na embalagem original. NÃO FURE A LATA. <p>Avisos adicionais:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Produto destinado somente a uso industrial, por pessoal qualificado conforme as normas técnicas aplicáveis. - Conserve longe do alcance de crianças 	
Data da última revisão: 19/10/2015 Identificação do documento: OD-QUA-190 Analisado criticamente e aprovado por: Marcel Alvarenga	Número da revisão: 07 Página 1 de 6