

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

FELIPE DE FREITAS SANCHES DIAS

**INFLUÊNCIA DA POLARIDADE NA MORFOLOGIA DO CORDÃO DE SOLDA
COM OS ELETRODOS REVESTIDOS COMERCIAIS (E6013, E7018)**

BELO HORIZONTE
2014

FELIPE DE FREITAS SANCHES DIAS

**INFLUÊNCIA DA POLARIDADE NA MORFOLOGIA DO CORDÃO DE SOLDA
COM OS ELETRODOS REVESTIDOS COMERCIAIS (E6013, E7018)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Curso de Graduação em Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientadora: Maria Celeste M. de Souza Costa

Co-orientadora: Ivanilza Felizardo

BELO HORIZONTE
2014

FELIPE DE FREITAS SANCHES DIAS

**INFLUÊNCIA DA POLARIDADE NA MORFOLOGIA DO CORDÃO DE SOLDA
COM OS ELETRODOS REVESTIDOS COMERCIAIS (E6013, E7018)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Curso de Graduação em Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA

Prof^a Dr^a. Maria Celeste Monteiro de Souza Costa – Orientadora

Prof^a Dr^a. Ivanilza Felizardo – Co-orientadora

Prof^o Joel Romano Brandão

AGRADECIMENTOS

Aos Professores Maria Celeste M. de S. Costa, Ivanilza Felizardo e Joel Romano Brandão, por terem se disponibilizado na orientação e auxiliado sempre que preciso na elaboração desse trabalho.

A todos do Departamento de Engenharia de Materiais do CEFET-MG, por tornarem possível a utilização dos laboratórios para a realização do trabalho.

Ao Professor Alexandre Queiroz Bracarense, PhD, pela disponibilização das dependências e equipamentos do Laboratório LRSS-DEMEC-UFMG para a realização de metalografias.

Aos meus pais, por me apoiarem nas escolhas que tenho feito.

A todos os amigos e parentes, por todo o apoio, força e compreensão nesta etapa final de muito trabalho.

RESUMO

A soldagem com eletrodo revestido foi uma das primeiras técnicas desenvolvidas após o descobrimento do fenômeno do arco elétrico, isto no início do século XIX. Devido ao seu baixo custo e sua simplicidade, este processo de soldagem ainda é largamente aplicado, desde que não seja necessária uma alta produtividade. A técnica SMAW utiliza uma fonte de energia, a qual tem a função de sustentar o arco elétrico aberto, um eletrodo revestido, que será o consumível do processo. Usualmente, este processo de soldagem é realizado com o eletrodo ligado ao polo positivo da fonte de energia, pois nestas condições a altura (reforço) do cordão de solda será maior. Porém, a literatura coloca que a maior altura (reforço) do cordão obtido a partir do eletrodo comercial E 6013, se dá na polaridade negativa. A fim de verificar esta afirmação, o objetivo deste trabalho é analisar, através de macrografias a morfologia dos cordões soldados com eletrodos revestidos comerciais E 6013 e E 7018, em dois diâmetros diferentes, nas polaridades negativa e positiva.

Palavras-chave: Eletrodo revestido. E 6013, E 7018. Polaridade. Morfologia.

ABSTRACT

Welding with coated electrode was the first technique developed after the discovery of the phenomenon of the electric arc, that in the early nineteenth century. Due to the low cost and simplicity, this welding process is widely applied today, since high productivity is not required. The SMAW technique uses a source of energy which will sustain the arc, and a coated electrode, which will be the consumable in the process and has a limited length. Usually, this welding process is performed with the electrode connected to the positive pole of the power source, because in these conditions the height (of the reinforcement) of the weld bead will be greater. However, the literature states that the greatest height of the bead obtained from commercial electrode E 6013, is given in the negative polarity. In order to verify this assertion, the aim of this paper is to analyze, through macrographs, the morphology of seams soldiers with commercial electrodes E 6013 and E 7018, in two diameters, in positive and negative polarities.

Keywords: coated electrode, E 6013, E 7018, polarity, morphology.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Sistema para soldagem a arco com eletrodo de carvão de acordo com a patente de Bernados e Olszewsky..... | 15 |
| Figura 2 - Oscar Kjellberg considerado o criador do processo SMAW..... | 16 |
| Figura 3 - Efeito da espessura do revestimento (mm) de um determinado eletrodo no tamanho médio das gotas (mm)..... | 18 |
| Figura 4 - Esquema do processo SMAW..... | 20 |
| Figura 5 - Esquema da montagem do sistema de soldagem..... | 21 |
| Figura 6 - Esquematisação das posições de soldagem..... | 24 |
| Figura 7 - Esquema de classificação dos eletrodos do grupo AWS A 5.1..... | 29 |
| Figura 8 - Fluxograma simplificado da fabricação de eletrodos revestidos..... | 30 |
| Figura 9 - Fonte de corrente contínua utilizada nos experimentos..... | 32 |
| Figura 10 - Lixadeira manual utilizada para preparação metalográfica..... | 33 |
| Figura 11 - Politriz manual utilizada para preparação metalográfica..... | 33 |
| Figura 12 - Fluxograma Experimental..... | 35 |
| Figura 13 - Dispositivo para fixação do grampo de retorno e posicionamento dos CPs..... | 35 |
| Figura 14 - Corpos de prova com a superfície preparada..... | 36 |
| Figura 15 - Cordões de solda realizados com o eletrodo E 6013 (2,5 mm de diâmetro e polaridade positiva no eletrodo)..... | 37 |
| Figura 16 - Cordões de solda realizados com o eletrodo E 7018 (2,5 mm de diâmetro e polaridade positiva no eletrodo)..... | 38 |
| Figura 17 - Cordões de solda realizados com o eletrodo E 6013 (2,5 mm de diâmetro e polaridade negativa no eletrodo)..... | 38 |
| Figura 18 - Cordões de solda realizados com o eletrodo E 7018 (2,5 mm de diâmetro e polaridade negativa no eletrodo)..... | 38 |
| Figura 19 - Cordões de solda realizados com o eletrodo E 6013 (3,25 mm de diâmetro e polaridade negativa no eletrodo)..... | 39 |
| Figura 20 - Cordões de solda realizados com o eletrodo E 7018 (3,25 mm de diâmetro e polaridade negativa no eletrodo)..... | 39 |
| Figura 21 - Cordões de solda realizados com o eletrodo E 6013 (3,25 mm de diâmetro e polaridade positiva no eletrodo)..... | 39 |
| Figura 22 - Cordões de solda realizados com o eletrodo E 7018 (3,25 mm de diâmetro e | |

| | | |
|--------------------|--|----|
| | polaridade positiva no eletrodo)..... | 40 |
| Figura 23 - | Esquema representativo do corte dos CPs..... | 41 |
| Figura 24 - | Visão geral dos CPs. Em (a) tem-se as amostras soldadas com o eletrodo E 6013 de 2,5 mm nas duas polaridades; (b) as soldadas com E 7018, também de 2,5 mm nas duas polaridades; as soldadas com os eletrodos E 6013 e E7018 de 3,25 mm nas duas polaridades estão representadas, respectivamente, em (c) e (d)..... | 44 |
| Figura 25 - | Macrografia dos cordões de solda com eletrodo E 6013 de 2,5 mm de diâmetro..... | 44 |
| Figura 26 - | Macrografia dos cordões de solda com eletrodo E 7018 de 2,5 mm de diâmetro..... | 45 |
| Figura 27 - | Macrografia dos cordões de solda com eletrodo E 6013 de 3,25 mm de diâmetro..... | 46 |
| Figura 28 - | Macrografia dos cordões de solda com eletrodo E 7018 de 3,25 mm de diâmetro..... | 46 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-----------------|---|----|
| Tabela 1 | Histórico da soldagem em sua forma atual..... | 16 |
| Tabela 2 | Subdivisões dos três grupos de transferência de acordo com a IIW ("International Institute of Welding")..... | 18 |
| Tabela 3 | Composição química universal para aços SAE 1020..... | 34 |
| Tabela 4 | Correntes aplicadas nos ensaios..... | 36 |
| Tabela 5 | Identificação dos grupos de CPs (levando-se em conta os critérios adotados).. | 40 |
| Tabela 6 | Resultados obtidos – altura dos cordões a partir das combinações de eletrodos e polaridade utilizada..... | 46 |
| Tabela 7 | Resultados obtidos – largura dos cordões a partir das combinações de eletrodos e polaridade utilizada..... | 47 |

LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

| | |
|---------|--|
| AWS | = American Welding Society (Sociedade Americana de Soldagem) |
| CA | = Corrente Alternada |
| CC | = Corrente Contínua |
| CPs | = Corpos de Prova |
| EPIs | = Equipamentos de Prote o Pessoal |
| MIG/MAG | = Metal Inert Gas/Metal Active Gas |
| SMAW | = Shielded Metal Arc Welding (Processo de arco com eletrodo revestido) |
| TIG | = Tungsten Inert Gas |
| ZTA | = Zona Termicamente Afetada |

SUMÁRIO

| | | |
|-------------------|--|----|
| CAPÍTULO 1 | Introdução..... | 12 |
| CAPÍTULO 2 | Objetivos..... | 13 |
| 2.1 | Objetivo Geral..... | 13 |
| 2.2 | Objetivos Específicos..... | 13 |
| CAPÍTULO 3 | Revisão Bibliográfica..... | 14 |
| 3.1 | Histórico..... | 14 |
| 3.1.1 | Da Soldagem..... | 14 |
| 3.1.2 | Do Processo SMAW..... | 15 |
| 3.2 | Transferência Metálica..... | 17 |
| 3.3 | Estabilidade do Arco..... | 19 |
| 3.4 | O Processo SMAW..... | 19 |
| 3.4.1 | Equipamentos..... | 21 |
| 3.4.2 | Variáveis do Processo..... | 23 |
| 3.4.3 | Aplicações..... | 25 |
| 3.5 | Consumíveis para o Processo SMAW..... | 26 |
| 3.5.1 | Classificação dos Eletrodos (segundo AWS)..... | 28 |
| 3.5.2 | Fabricação do Eletrodo..... | 29 |
| 3.5.3 | E 6013..... | 31 |
| 3.5.4 | E 7018..... | 31 |
| CAPÍTULO 4 | Equipamentos, Materiais e Metodologia..... | 32 |
| 4.1 | Equipamentos..... | 32 |
| 4.2 | Materiais..... | 33 |
| 4.3 | Metodologia..... | 34 |
| 4.3.1 | Introdução..... | 34 |
| 4.3.2 | Fluxograma Experimental..... | 34 |
| 4.3.3 | Procedimento Experimental..... | 35 |
| 4.3.3.1 | Preparação dos corpos de prova..... | 36 |
| 4.3.3.2 | Testes preliminares..... | 36 |
| 4.3.3.3 | Testes principais..... | 37 |
| 4.3.3.4 | Macrografia dos cordões..... | 40 |
| CAPÍTULO 5 | Resultados e Discussões..... | 43 |

| | |
|--|----|
| 5.1 Aspectos Superficiais dos Cordões..... | 43 |
| 5.2 Análises Macrográficas..... | 43 |
| CAPÍTULO 6 Conclusão..... | 48 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 49 |

CAPÍTULO 1

Introdução

No início do século XIX, a descoberta do arco elétrico fez com que a soldagem passasse a ser um dos processos de fabricação e manutenção mais aplicados em todo o mundo. A primeira vertente que se desenvolveu com a descoberta deste fenômeno foi a soldagem a arco com eletrodo revestido (SMAW), sendo a mesma a mais simples em questão de processabilidade.

Esta característica, aliada ao baixo custo, tanto dos equipamentos quanto o de manutenção, faz com que o processo SMAW seja, até hoje, um dos mais usados em aplicações que não exijam uma alta produtividade. O processo requer uma fonte de soldagem bem simples, apenas para o fornecimento de energia, o qual sustentará o arco. Utiliza-se um eletrodo revestido consumível de comprimento limitado (conectado à fonte). O toque desse eletrodo à peça (a qual deve estar conectada ao outro polo da fonte) provoca a abertura do arco elétrico, e este arco servirá como fonte de calor para fundir o consumível e o metal de base para formar a poça de fusão.

Normalmente, o eletrodo neste processo é ligado ao polo positivo da máquina, pois acredita-se que neste modo de operação a altura do reforço do cordão de solda e, conseqüentemente, a taxa de deposição serão maiores. Entretanto, é possível observar em alguns trabalhos, que para um determinado eletrodo (E 6013) ocorre o contrário, ou seja, com a maior taxa de deposição na polaridade negativa.

Neste trabalho será feita uma análise do comportamento dos eletrodos E 6013 e E 7018 comparando-se as soldas nas diferentes polaridades. Cordões de solda sobre chapas serão executados com os dois eletrodos nas duas polaridades (negativa e positiva). Em seguida será feito a análise da geometria do cordão.

CAPÍTULO 2

Objetivos

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho será realizar análises macrográficas do cordão de solda, a fim de verificar a influência da polaridade do eletrodo (processo SMAW) na morfologia do cordão de solda.

2.2 Objetivos Específicos

Comparar a morfologia (largura e profundidade) dos cordões de solda executados a partir de combinações de eletrodos (E 6013 e E 7018) e polaridade, buscando manter as variáveis do processo constantes em todos os cordões, a fim de investigar a afirmação da literatura de que a maior penetração do cordão é obtida utilizando-se a polaridade positiva.

CAPÍTULO 3

Revisão Bibliográfica

3.1 Histórico

3.1.1 Da Soldagem

A soldagem é “o processo de união de materiais usados para obter a coalescência (união) localizada de metais e não metais, produzida por aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem a utilização de pressão e/ou material de adição” segundo a AWS (*American Welding Society*). Registros bibliográficos apontam diferentes datas para o surgimento deste processo, a maioria dos autores datam a primeira aparição da soldagem na cidade de Ur, na Caldéia, há 5000 anos. Neste registro tem-se que era realizada a união de peças de ouro a partir de uma variação do processo, chamada de soldabrasagem (definição). Entretanto, a soldagem como um processo “puro” (na forma de soldagem por forjamento) teve suas primeiras aparições na Antiguidade (SOLDAGEM & BRASAGEM, 2012).

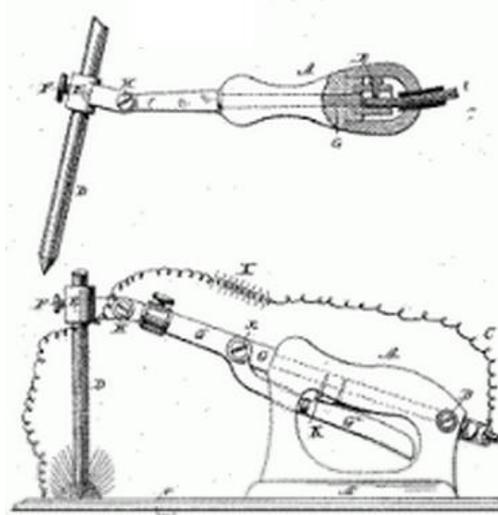
A técnica de soldagem por forjamento foi um importante processo de produção até a Idade Média. Era destinada para a fabricação de armamentos e demais objetos cortantes. Isto ocorreu devido á dois fatores, primeiro a falta e o alto valor dos aços e, também, as pequenas dimensões de blocos de ferro obtidos na época. Neste período, o tipo de procedimento era o de soldagem por forjamento (MARQUES et. al., 2005).

A importância da soldagem passou a diminuir a partir do século XII, pois neste período ocorreu o desenvolvimento do processo produtivo da fundição. Passou-se a produzir o ferro fundido de forma mais vantajosa. Com isso, a fundição fez com que outros processos de união, como a rebitagem e a parafusagem, tomassem o lugar da soldagem, colocando-a como um processo secundário (MARQUES et. al., 2005).

Isto ocorreu até o século XIX, que foi quando a tecnologia de soldagem sofreu uma mudança radical com novas descobertas e consequentes patentes, como a experiência de Sir Humphry Davy (1801-1806) descobrindo o fenômeno do arco elétrico e a patente com base em um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo (de carvão) e uma chapa, de Nikolas Bernardos e Stanislav Olszewsky (Figura 1), entre outras, como pode ser visto na Tabela 1. Além do desenvolvimento de fontes de energia elétrica, que possibilitou o surgimento da soldagem por fusão (MARQUES et. al., 2005).

Na atualidade a soldagem é considerada o processo mais importante para união permanente de metais, possuindo mais de 50 métodos diferentes com aplicação na indústria (MARQUES et. al., 2005).

Figura 1 – Sistema para soldagem a arco com eletrodo de carvão de acordo com a patente de Bernados e Olszewsky.



Fonte: Adaptado de: < <http://tadeuelieser.blogspot.com.br/2010/01/soldagem-por-eletrodo-revestido-teve.html>>.

3.1.2 Do Processo SMAW

O processo SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) é um tipo de soldagem, no qual é utilizado um metal de adição no revestimento do eletrodo (consumível). Nesta técnica tem-se uma fonte de energia, para que se obtenha o arco elétrico durante o procedimento, os polos positivo e negativo da mesma são “ligados” à peça e ao eletrodo revestido. O processo se inicia com a abertura do arco ao tocar o eletrodo na peça, realizando-se a formação do cordão sem grandes variações no tamanho do arco. Para finalizá-lo, basta afastar o eletrodo da peça. O primeiro possui um comprimento normalmente pequeno e é consumido durante o processo, portanto, dependendo da taxa de consumo do eletrodo, é necessário que se têm uma troca por um novo, e esta é feita manualmente.

A história dessa técnica começa no início do século XIX, com a descoberta do arco elétrico por Davy em 1801 (Tabela 1). Inicialmente era utilizado um eletrodo de carvão, porém o mesmo foi substituído por um metálico, no final do mesmo século, por Slavianoff e Coffin. Essas duas inovações no universo da soldagem levaram aos primeiros eletrodos com revestimento em 1905, pelo engenheiro Oscar Kjellberg (Figura 2). Durante os experimentos Kjellberg percebeu que o revestimento liberava gases durante a queima, e que tais gases

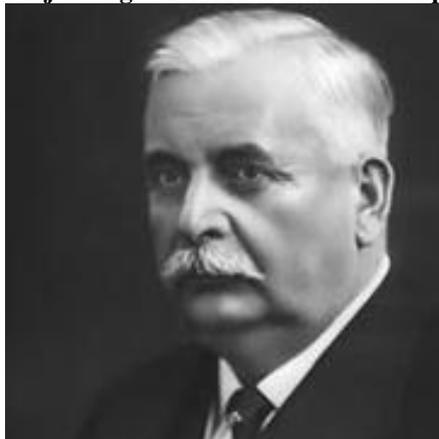
evitavam a contaminação da poça de solda (OXIGÊNIO, 2013).

Tabela 1 – Histórico da soldagem em sua forma atual.

| | |
|------|--|
| 1801 | Humphry Davy descobre o fenômeno do arco elétrico. |
| 1836 | Edmund Davy descobre o Acetileno. |
| 1885 | N. Bernardos e S. Olszewsky depositam patente do processo de soldagem por arco elétrico. |
| 1889 | N. G. Slavianoff e C. Coffin substituem o eletrodo de grafite por arame metálico. |
| 1901 | Fouché e Picard desenvolvem o primeiro maçarico industrial para soldagem oxiacetilênica. |
| 1903 | Goldschmidt descobre a solda aluminotérmica. |
| 1907 | O. Kjellberg deposita a patente do primeiro eletrodo revestido. |
| 1919 | C. J. Halsag introduz a corrente alternada nos processos de soldagem. |
| 1926 | H. M. Hobart e P. K. Denver utilizam gás inerte como proteção do arco elétrico. |
| 1930 | Primeiras normas para eletrodo revestido nos EUA. |
| 1935 | Desenvolvimento dos processos de soldagem TIG e Arco Submerso. |
| 1948 | H. F. Kennedy desenvolve o processo de soldagem MIG. |
| 1950 | França e Alemanha desenvolvem o processo de soldagem por feixe de elétrons. |
| 1953 | Surgimento do processo MAG. E primeiras aplicações do processo PLASMA convencional. |
| 1957 | Desenvolvimento do processo de soldagem com arame tubular e proteção gasosa. |
| 1958 | Desenvolvimento do processo de soldagem por eletro-escória, na Rússia. |
| 1960 | Desenvolvimento do processo de soldagem a laser, nos EUA. |
| 1970 | Aplicados os primeiros robôs nos processos de soldagem. |

Fonte: Adaptado de: < <http://cursos.unisantabr/mecanica/ciclo10/CAPIT1.pdf> > .

Figura 2 – Oscar Kjellberg considerado o criador do processo SMAW.



Fonte: Disponível em: <<http://tadeuelieser.blogspot.com.br/2010/01/soldagem-por-eletrodo-revestido-teve.html>>.

Nesta época o processo SMAW ainda não era muito utilizado, ficando atrás da soldagem por resistência, oxicomustível e rebites aquecidos. A partir da década de 20, sendo

alavancada pela eclosão da Primeira Guerra Mundial, a soldagem por eletrodo revestido passou a ser largamente utilizada, principalmente na indústria naval (OXIGÊNIO, 2013).

No começo, as peças obtidas por esta técnica apresentavam defeitos provocados pela contaminação da poça de fusão (principalmente pelos gases oxigênio e nitrogênio), o produto final apresentava alta porosidade e era quebradiço. Com o desenvolvimento dos revestimentos este problema foi sendo resolvido e, com esta solução o SMAW passou a ser o tipo de solda básica nas indústrias ao redor do mundo (OXIGÊNIO, 2013).

Nos dias de hoje, a soldagem com eletrodo revestido permanece como uma das mais utilizadas, apesar de competir com processos mais modernos (como o MIG/MAG e o TIG). Porém, a soldagem com eletrodo revestido sai na frente na maioria das aplicações, devido, principalmente, à maior simplicidade e versatilidade do processo (OXIGÊNIO, 2013).

3.2 Transferência Metálica

A transferência metálica nos processos de soldagem engloba fenômenos muito complexos, que, normalmente, não são muito estudados. No processo de soldagem SMAW essa complexidade é ainda maior, pois o processo é executado de forma manual. O conhecimento destes fenômenos é de extrema importância para um maior controle da técnica de soldagem como um todo (WAINER et. al., 1992).

A transferência metálica pode ser classificada em três grupos: (a) o de transferência por voo livre (*Free-flight transfer*), (b) transferência por contato (*Bridging transfer*) e (c) transferência protegida por escória. Tais grupos são mais detalhados na Tabela 2 (COSTA, 2006).

A complexidade deste fenômeno no processo SMAW se dá devido aos gases gerados pela queima do revestimento dos eletrodos e pela presença de gotas de escória nas gotas metálicas durante a transferência. Nesta técnica a transferência é influenciada pelo revestimento do eletrodo, pela corrente utilizada e pela posição de soldagem (WAINER et. al., 1992).

O revestimento pode influenciar de duas maneiras, pela sua espessura ou sua composição. A primeira influência no tamanho da gota (Figura 3), tal influência pode ser explicada pelo comprimento de revestimento não fundido na ponta do eletrodo, se aumentado irá concentrar o calor do arco neste ponto, tornando o tamanho médio da gota menor (WAINER et. al., 1992).

Já a composição do revestimento irá influenciar na fluidez da escória e,

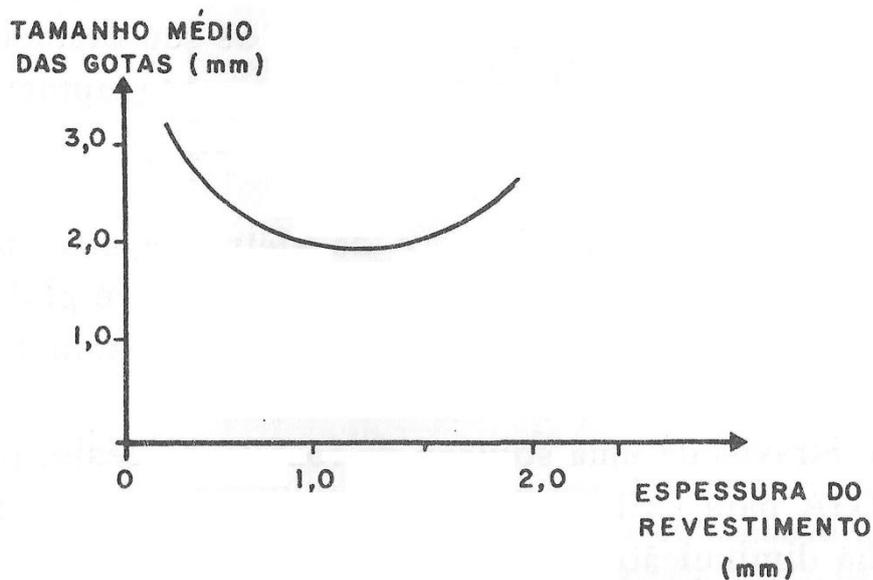
consequentemente, no tamanho das gotas, de forma diretamente proporcional. Os eletrodos com revestimento ácido possuem a escória mais fluida, seguido pelos rufílico e básico, respectivamente (não há referencias aos outros revestimentos) (WAINER et. al., 1992).

Tabela 2 – Subdivisões dos três grupos de transferência de acordo com a IIW (“International Institute of Welding”).

| TIPO DE TRANSFERÊNCIA | PROCESSO DE SOLDAGEM |
|--|--------------------------------------|
| 1 – TRANSFERÊNCIA POR VÔO LIVRE | |
| 1.1 – Globular | |
| 1.1.1 – Gota (Drop) | GMAW – Baixa corrente |
| 1.1.2 – Repelida (Repelled) | GMAW com proteção de CO ₂ |
| 1.2 – Spray | |
| 1.2.1 – Projetada (Projected) | GMAW – Corrente intermediária |
| 1.2.2 – Spray em Fluxo (Streaming) | GMAW – Corrente média |
| 1.2.3 – Rotacional (Rotating) | GMAW – Corrente elevada |
| 1.3 – Explosiva | SMAW |
| 2 – TRANSFERÊNCIA POR PONTE | |
| 2.1 – Curto-Circuito (Short-Circuiting) | GMAW – Arco “curto” |
| 2.2 – Sem Interrupção (Without Interruption) | GTAW com alimentação contínua |
| 3 – TRANSFERÊNCIA PROTEGIDA POR ESCORIA | |
| 3.1 – Fluxo Guiado (Flux-Wall Guided) | SAW |
| 3.2 – Outros modos | SMAW, FCAW, ESW, etc. |

Fonte: Disponível em: COSTA, 2006.

Figura 3 – Efeito da espessura do revestimento (mm) de um determinado eletrodo no tamanho médio das gotas (mm).



Fonte: Disponível em: WAINER et. al., 1992.

A corrente de soldagem utilizada no processo, quando aumentada, proporcionará uma diminuição no tamanho da gota e um aumento da taxa de deposição de metal de solda (WAINER et. al., 1992).

Por último, tem-se a influência da posição de soldagem, a qual altera o tamanho da gota. Estas são obtidas em menor tamanho na posição horizontal do que na vertical (WAINER et. al., 1992).

3.3 Estabilidade do Arco

O arco elétrico é utilizado como fonte de calor para a fusão em grande parte dos processos de soldagem. Apesar dessa grande importância, tal fenômeno é bastante complexo, o que dificulta um entendimento completo do mesmo (COSTA, 2006).

O arco elétrico é definido como uma descarga elétrica entre eletrodos em um meio gasoso (ou composto por vapor gerado pelos eletrodos), possui uma queda de tensão no cátodo (eletrodo negativo), com uma corrente fluindo pelo arco e assumindo valores acima de um mínimo (10 mA). (UFSC, 2013)

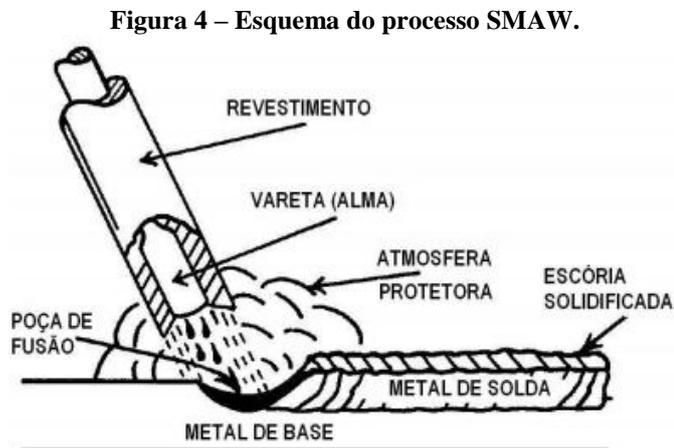
Nas primeiras utilizações do processo de soldagem com eletrodos sem revestimentos a instabilidade do arco era um grave problema, o qual gerava uma qualidade final do cordão de solda pobre. Porém, observou-se que quando os arames encontravam-se oxidados ou eram recobertos com algum material (como a cal), uma melhor estabilidade do arco era atingida (WAINER et. al., 1992). A partir desta observação, viu-se que para um melhor resultado do processo era necessário um revestimento no eletrodo, o qual além de estabilizar melhor o arco proporcionava uma proteção contra contaminação externa. Apesar dessas novas observações de melhora da estabilidade do arco, é necessário ressaltar que tal estabilidade não é de fácil obtenção, pois o Processo SMAW é manual, portanto este fenômeno é controlado pela habilidade do operador.

3.4 O Processo SMAW

O processo de soldagem SMAW é tido como o processo mais simples dentre as técnicas de soldagem a arco elétrico e mais utilizado dentre todos os processos de soldagem existentes. Este possui alguns pontos bastante favoráveis à sua utilização, como o custo relativamente baixo, eletrodos encontrados facilmente no mercado e pode ser utilizado em soldagem em qualquer posição e até ambiente, como por exemplo, a soldagem subaquática

(FELIZARDO, 2003). Entretanto, o processo SMAW apresenta algumas desvantagens, como a baixa produtividade por se tratar de uma técnica manual, os eletrodos necessitam de cuidados especiais (deve-se evitar a contaminação e contato com a umidade do mesmo, pois isto irá afetar a qualidade do cordão de solda), são gerados muitos gases durante a queima do eletrodo (FORTES, 2005) os quais, apesar de protegerem a região de solda, podem “agredir” o meio ambiente e prejudicar a saúde dos que os inalam.

A soldagem com eletrodo revestido consiste na obtenção de um arco elétrico mantido entre a extremidade do próprio eletrodo e a peça que está sendo soldada. O mesmo servirá para fornecer calor ao processo e assim fundir o metal de base e o eletrodo (sua alma e seu revestimento). A queima do revestimento produzirá gases que servirão como uma atmosfera protetora para a poça e fusão e também para as gotas de metal de solda e escória que estarão se transferindo do eletrodo para a solda. Quando a gota atinge a poça, a escória se “separa” do metal, e, na forma líquida, irá flutuar sobre a poça de fusão, onde ficará e servirá para proteger o cordão (ou metal) de solda contra contaminações da atmosfera durante sua solidificação (FORTES, 2005). Na Figura 4, observa-se um esquema de todos os elementos descritos acima.



Fonte: Disponível em:

<http://www.esab.com.br/br/por/Instrucao/apostilas/upload/1901097rev0_ApostilaEletrodosRevestidos.pdf>.

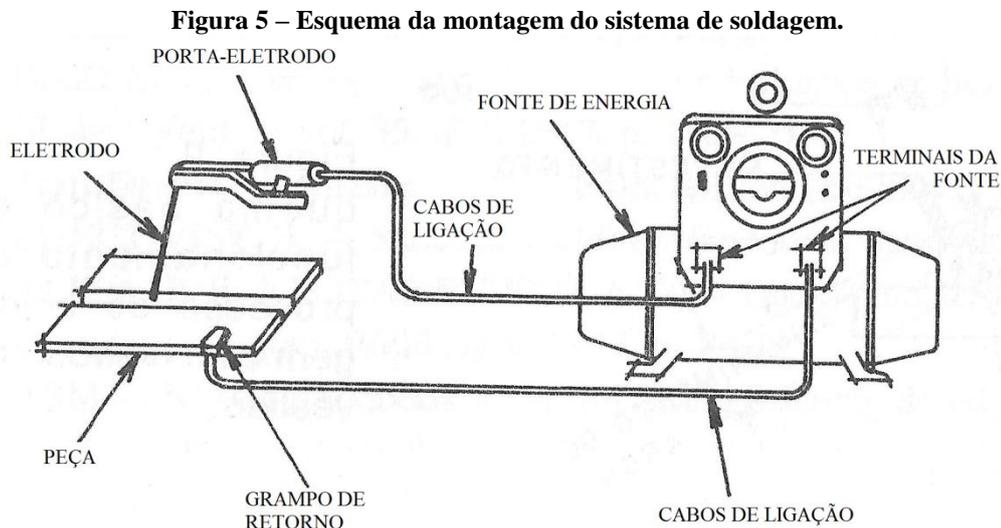
O processo SMAW pode ser aplicado para a maioria das ligas metálicas, excluindo apenas as ligas que possuem baixo ponto de fusão (como chumbo, estanho e zinco), devido à alta energia gerada no sistema pelo arco, e às ligas reativas (como zircônio e titânio), pois assim a proteção do metal de solda contra a contaminação atmosférica será comprometida (MACHADO, 1996).

Este é um processo que exige habilidade do soldador para se obter uma solda de

qualidade, pois trata-se de uma técnica manual. O operador é responsável pela abertura e fechamento do arco, pela troca do eletrodo, o qual apresenta elevada rigidez e devido a isso, possui um comprimento limitado, sendo a causa da troca. O soldador também determina os movimentos de avanço e mergulho do eletrodo durante o processo, preocupando-se em manter o comprimento do arco constante durante a execução destes movimentos (FELIZARDO, 2003).

3.4.1 Equipamentos

O processo SMAW necessita dos seguintes equipamentos básicos: a fonte de energia, o porta-eletrodo, o grampo de retorno (o qual deverá ficar preso à peça), cabos para a ligação do sistema, EPIs (equipamentos de proteção individual) e equipamentos para a limpeza da solda, como, por exemplo, picadeira e escova de aço (WAINER et. al., 1992). Uma observação deve ser feita, pois o eletrodo não é tido como equipamento no processo, pois o mesmo será definido como consumível do processo. Uma esquematização da montagem do sistema pode ser observada na Figura 5.



Fonte: Adaptado de: WAINER et. al., 1992.

Fonte de energia: As fontes são responsáveis por transformar a energia da rede (recebida pela mesma), a qual possui alta tensão e baixa corrente em energia para a soldagem, com baixa tensão e alta corrente (FOGAGNOLO, 2011).

O processo SMAW pode ser realizado com corrente contínua (CC) ou alternada (CA). No primeiro caso, a fonte utilizada pode ser, tradicionalmente, de dois tipos: unidades

geradoras, quando não se tem um acesso a um suprimento elétrico, ou transformadores-retificadores, no qual tal limitação não existe, pois é mais silencioso e de baixo custo operacional. Para o segundo caso, transformadores para CA são o tipo de fonte aplicável mais simples e barato, tanto para investimento inicial quanto para manutenção (WAINER et. al., 1992).

Porta-eletrodo: Tem como função prender de forma firme o eletrodo e transmitir a corrente recebida da fonte para o mesmo. Sua especificação é feita em função de uma faixa de diâmetro do eletrodo, a qual ele consiga prender, e da corrente máxima que o mesmo consiga conduzir. Os porta-eletrodos devem possuir características que facilitam o seu manuseio (FELIZARDO, 2009).

Grampo de retorno: São grampos ou garras que irão ser conectados diretamente à peça ou sobre a mesa (quando condutora) na qual se encontra a mesma (FOGAGNOLO, 2011). Serve para “receber” a corrente do arco elétrico e retorná-la para a fonte, fechando o circuito. A pressão exercida pelo grampo é inferior à do porta-eletrodo, tornando o contato elétrico menor, porém, isso não interfere negativamente no processo (WAINER et. al., 1992).

Cabos de ligação: São responsáveis por levar a corrente da fonte ao porta-eletrodo e do grampo de retorno de volta à fonte (FOGAGNOLO, 2011), este último é normalmente denominado cabo terra.

São cabos de alumínio ou cobre envoltos por uma camada de borracha isolante e protetora (FOGAGNOLO, 2011). Possuem diâmetros variados, os quais dependem da potência elétrica, do comprimento de cabo e do tipo de corrente usada (WAINER et. al., 1992).

EPIs: São os equipamentos destinados à proteção do soldador. Os equipamentos básicos são: o capacete com um visor na altura dos olhos, o qual possui filtros protetores contra radiação, roupas para proteção do resto do corpo (aventais, jaquetas, mangas, luvas, gorro, etc.), além de sapatos industriais (WAINER et. al., 1992).

Equipamentos para limpeza da solda: São os dois citados no começo desta seção, a picadeira e a escova de aço. Eles são essenciais para o processo, pois é necessária a remoção da escória, tanto para a finalização quanto para a realização de um novo passo de solda.

A picadeira é utilizada primeiro, ela se parece com um martelo, porém um dos lados é pontiagudo. É utilizada para trincar a escória, sendo que este procedimento deve ser feito com uma força moderada, para que não prejudique as características da solda. Por último, utiliza-se a escova para limpar a superfície e remover a escória trincada, é muito importante que se utilize na escova um aço compatível ao que está sendo soldado, para que não haja

contaminação ao se passar a escova (MACHADO, 1996).

3.4.2 Variáveis do Processo

Para se ter controle na operação de soldagem com processo SMAW é preciso determinar, principalmente, as variáveis do processo. Elas serão determinadas antes da realização do procedimento, porém, algumas são de difícil controle por serem diretamente ligadas à não-automatização do processo. São muitas as variáveis para a soldagem, entretanto, algumas são levadas mais em conta para esta técnica e serão descritas neste tópico. Elas são a corrente de soldagem, o comprimento do arco, a velocidade e a posição de soldagem, o diâmetro do eletrodo, a orientação do mesmo e a polaridade do processo.

Corrente de soldagem: Esta variável é responsável pelo controle de praticamente todas as características operatórias do processo, o aspecto do cordão e as propriedades da junta soldada. Também controla, diretamente, a magnitude e o modo de distribuição espacial do calor (energia térmica) no arco elétrico (WAINER et. al., 1992).

A corrente utilizada no processo SMAW pode ser contínua ou alternada. A escolha da polaridade dependerá de vários fatores, dentre os quais está o tipo do eletrodo (FELIZARDO, 2009).

Utilizando-se CA o arco tende a ficar mais instável, devido à periódica mudança de polaridade juntamente com a queda momentânea da corrente para valores muito baixos. Quando são utilizados eletrodos de diâmetro pequeno, os quais requerem valores menores de corrente, aparecem outras dificuldades, como a abertura e a manutenção do arco elétrico. Por outro lado, este tipo de corrente minimiza o aparecimento de sopro magnético (devido à constante inversão do campo magnético no processo) e também a queda de tensão nos cabos. Esta última característica favorece procedimentos de soldagem realizados a uma distância considerável da fonte (FELIZARDO, 2009).

Já corrente contínua utiliza-se com eletrodos de pequeno diâmetro e baixas correntes, o que gera boas características operatórias e um arco mais estável, e também para soldagens com comprimento pequeno do arco e baixa tensão. A aplicação de CC é mais recomendável para as posições vertical e sobre-cabeça e para a soldagem de chapas finas, se comparada à CA, isto devido à utilização de baixa corrente (FELIZARDO, 2009).

Com relação aos valores de corrente aplicáveis, os mesmos dependem das características do eletrodo, para tal os fabricantes fornecem tabelas com as faixas de correntes aplicáveis para cada eletrodo e diâmetro do mesmo. A intensidade da corrente também é

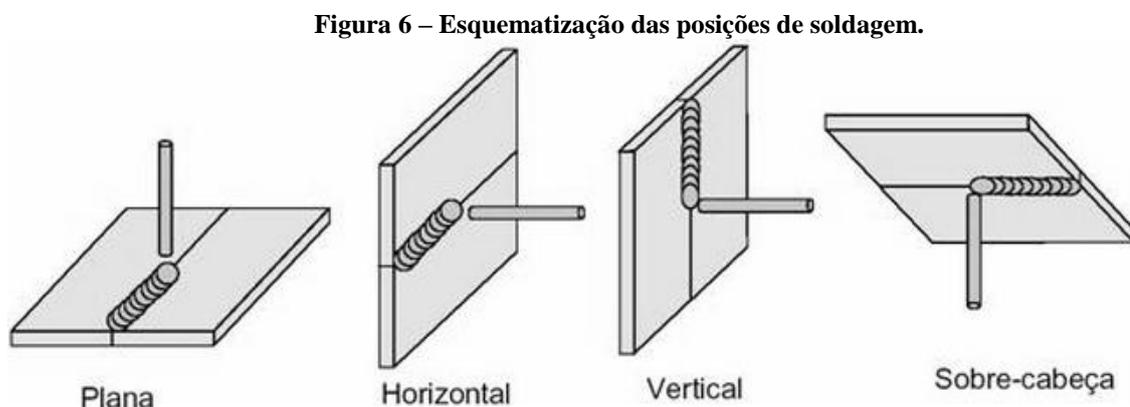
responsável por algumas características do cordão, como a penetração da solda, largura e diluição do metal de solda (WAINER et. al., 1992).

Comprimento do arco: É correspondente à distância entre a ponta do eletrodo e o metal de base. É um parâmetro dependente de outras variáveis, como a corrente e a posição de soldagem, e também do diâmetro e do revestimento do eletrodo. Apesar de ser estipulado antes de iniciado o processo, o comprimento do arco é dificilmente mantido constante nesta técnica, por ser tratar de um procedimento manual, portanto a manutenção desta variável constante depende muito da habilidade do operador (FELIZARDO, 2009).

Velocidade de soldagem: Também pode ser colocada como velocidade de avanço, e é definida como de movimento do eletrodo ao longo da junta. Esta variável é influenciada por alguns parâmetros, como o tipo e a intensidade da corrente, a polaridade, posição de soldagem, espessura do metal de base, tipo de junta, entre outros (FELIZARDO, 2009).

A velocidade de avanço deve ser ideal para conduzir, sem grandes interferências, a poça de fusão. Altas velocidades podem gerar cordões com larguras e penetrações menores e possíveis defeitos nos mesmos, como trincas e porosidade. Já com velocidades baixas a largura do cordão é aumentada e defeitos também surgem, como uma grande zona termicamente afetada (ZTA) devido à maior quantidade de calor por unidade de comprimento fornecido ao material (FELIZARDO, 2009).

Posição: No processo SMAW a solda pode ser realizada em qualquer posição (plana, horizontal, vertical e sobre-cabeça). Esta variável vai depender de outros parâmetros do processo. As posições que podem ser utilizadas nesta técnica estão esquematizadas na Figura 6.



Fonte: Disponível em: <<http://dc401.4shared.com/doc/nvL1CgfJ/preview.html>>.

Diâmetro do eletrodo: É o diâmetro que corresponde somente à alma do eletrodo. A corrente e a velocidade do processo são determinadas, dentre outros fatores, por esta variável,

e esta variável depende principalmente da espessura da chapa e do tipo de junta a ser soldada e da posição de soldagem (FELIZARDO, 2009).

Diâmetros maiores são utilizados em chapas espessas e, principalmente, para procedimentos na posição plana. Em posições de soldagem onde a poça de fusão tende a escorrer devido à ação da gravidade (horizontal, vertical e sobre-cabeça), utiliza-se eletrodos com diâmetros menores, pois os mesmos reduzem o tamanho da poça de fusão, o que pode ajudar a controlar essa tendência de escoamento do metal fluido (FELIZARDO, 2009).

Orientação do eletrodo: Utiliza-se o ângulo do eletrodo (entre o eixo do mesmo e o eixo de soldagem) e o sentido de soldagem (se o eletrodo está “puxando” ou “empurrando” a poça de fusão, no primeiro caso o ângulo é negativo, no outro positivo) para se definir este parâmetro. É de extrema importância na qualidade final da solda. Um posicionamento errôneo em relação ao eixo pode provocar defeitos (aprisionamento de escória, porosidade e trincas). Trata-se de uma variável que dependerá do diâmetro do eletrodo, da posição de soldagem e da geometria da junta (FELIZARDO, 2009).

Polaridade: Esta variável serve para designar a conexão elétrica do porta-eletrodo em relação à fonte quando utiliza-se CC. Tal variável é, normalmente, utilizada como positiva (porta-eletrodo ligado ao positivo da fonte) (FELIZARDO, 2009).

Com relação a esta variável do processo, tem-se uma questão que vem sendo bastante investigada, que é a influência da polaridade no consumo dos eletrodos. Em sua maioria, a literatura afirma que utilizando-se a polaridade positiva no processo de soldagem o cordão de solda terá uma maior penetração e uma menor altura do reforço, porém, com a polaridade negativa, o processo terá uma maior taxa de fusão (FELIZARDO, 2003).

Apesar destas afirmações, Felizardo (2003) baseia-se em dados experimentais, de que em alguns casos a taxa de fusão é maior quando a polaridade positiva (reversa) é aplicada, para mostrar que tal regra não é aplicável para todos os casos.

3.4.3 Aplicações

Devido à simplicidade de aplicação e ao baixo custo, o SMAW é o processo de soldagem mais aplicado nos dias de hoje. As aplicações variam desde serviços simples de manutenção até, por exemplo, a fabricação de vasos nucleares e pode-se soldar até em condições não muito favoráveis, como em ambientes aquáticos.

Apesar desta vasta aplicabilidade, a escolha do procedimento deve levar em conta um balanço entre o custo de realização, a qualidade da deposição de metal e a segurança do

soldador (WAINER et. al., 1992). Estas características estão diretamente ligadas ao eletrodo como um todo (sua alma e o revestimento) e para saber, exatamente, qual deve-se utilizar para uma dada aplicação, consultam-se tabelas padrão fornecidas pelo órgão regulador.

3.5 Consumíveis para o Processo SMAW

Os eletrodos para este processo são constituídos por uma alma metálica, com diâmetro variando entre 1,5 e 8 mm e comprimento entre 230 e 450 mm, e a mesma possui um revestimento concêntrico a ela (MARQUES et. al., 2005). Os mesmos são misturas de compostos (minerais ou orgânicos) adicionados de outros para atribuição de especificidades do produto final (WAINER et. al., 1992). A composição do revestimento é responsável por determinar as características operacionais do eletrodo, além de, normalmente, exercer influência na composição química e, conseqüentemente, nas propriedades mecânicas do cordão de solda (MARQUES et. al., 2005).

Estes materiais e sua composição possuem influência direta, ou não, em variados parâmetros do processo e do produto final. A mistura deve fornecer uma proteção gasosa adequada durante o processo, influenciar na abertura, reabertura e estabilidade do arco, na penetração, taxa de deposição e acabamento final da solda e nas propriedades da escória para que a mesma seja removida facilmente, diminuir a quantidade de respingos, controlar a temperatura do eletrodo, entre outras (WAINER et. al., 1992).

Entretanto, nem sempre é possível atender a todos estes requisitos, para tal é necessário que se obtenha um equilíbrio juntamente com o valor econômico para a escolha do eletrodo a ser utilizado.

Os revestimentos podem ser classificados em cinco grupos, ácidos, básicos, celulósicos, oxidantes e rútilicos.

Revestimentos ácidos: Normalmente compostos de óxido de ferro, manganês e sílica. Eletrodos com este revestimento produzem muita escória (ácida) porosa e de fácil remoção. A tensão de trabalho varia entre 20 e 40 V, dependendo do diâmetro do eletrodo, isto favorece todas as posições de soldagem. O cordão de solda obtido apresentará boas características físicas, ao contrário de suas propriedades mecânicas e metalúrgicas, as quais são prejudicadas devido à marcante presença de oxigênio. Outro ponto negativo é o favorecimento à trinca de solidificação. Esta combinação torna a aplicação do mesmo limitada e escassa (FELIZARDO, 2009).

Revestimentos básicos: Possuem grandes quantidades de carbonato de cálcio e

fluoreto de cálcio (fluorita). A escória básica gerada na soldagem (também de fácil remoção), em conjunto com o dióxido de carbono proveniente da queima do carbonato, protege a solda de contaminações atmosféricas, além de atuar metalurgicamente sobre a solda, de forma benéfica, dessulfurando-a e, conseqüentemente, reduzindo o risco de formação de trincas de solidificação (MARQUES et. al., 2005). A utilização deste tipo de revestimento pode gerar os cordões de solda com as melhores propriedades mecânicas e metalúrgicas (principalmente a tenacidade), baixo teor de hidrogênio (reduzindo a possibilidade de fissuração e fragilização provocadas pelo mesmo) e penetração média. Estas qualidades do metal de solda devem-se aos efeitos do carbonato e da fluorita, devido ao controle sobre as impurezas através da escória, e das inclusões não-metálicas. Um ponto negativo deste revestimento é sua característica higroscópica, sendo necessários alguns cuidados especiais para o seu manuseio e armazenamento (utiliza-se estufas para ressecagem com temperaturas de até 400°C). Um exemplo de eletrodo de revestimento básico é o E 7018, o qual será alvo de estudo neste trabalho (FELIZARDO, 2009).

Revestimentos celulósicos: Revestimentos com grande quantidade de substâncias orgânicas na sua composição, o que os tornam inflamáveis e provoca a produção de gás em grande volume, o qual servirá para proteger a poça de fusão. A penetração da solda com este eletrodo é grande e é formada escória em pequena quantidade e de fácil remoção. A quantidade de hidrogênio depositada juntamente com o metal é alta, isto impossibilita sua aplicação em processos onde se pretende obter o material com elevada resistência mecânica ou onde o metal de base utilizado for susceptível a trincas. Estes eletrodos também necessitam de cuidados no manuseio e armazenamento, porém, a temperatura máxima de ressecagem deve ser 100°C, a qual não é suficiente para retirar toda a umidade (FELIZARDO, 2009).

Revestimentos oxidantes: Possui como principais constituintes os óxidos de ferro e de manganês. A escória oxidante é produzida de forma abundante, porém é fácil destacá-la. O cordão de solda apresenta, geralmente, baixa penetração, além de propriedades mecânicas nada satisfatórias (principalmente a tenacidade), devido ao baixo teor de carbono e manganês do metal depositado. Entretanto, o mesmo apresenta uma boa aparência (WAINER et. al., 1992). Tal revestimento não é indicado para determinadas aplicações e seu uso se restringe à soldagem subaquática (FELIZARDO, 2009).

Revestimentos rutilicos: Tem o dióxido de titânio (rutilo) como principal substância presente. Podem também possuir quantidades consideráveis de celulose em sua composição. A sua utilização facilita a abertura do arco e propicia a soldagem em qualquer posição. São sensíveis à presença de impurezas na superfície a ser soldada e são próprios para a realização

de cordões pequenos em aços baixo carbono. Quando utilizados em procedimentos com aços de alto teor de carbono, favorecem a formação de trincas. A penetração da soldagem é média e a escória solidifica-se rapidamente, sendo removida facilmente também. Não são indicados para a realização de cordões com elevada resistência mecânica. Não sofrem interferência da umidade (FELIZARDO, 2009). Um exemplo de eletrodo com este revestimento é o E 6013, o qual também será estudado.

Estes revestimentos descritos acima podem ser adicionados com pó de ferro. Tal adição provoca o melhor aproveitamento da energia e estabilização da poça de fusão. Outro benefício seria um aumento da resistência do eletrodo ao calor e, conseqüentemente, poderá se utilizar valores de corrente maiores. Entretanto, estas melhorias provocam uma maior taxa de fusão e aumenta o volume da poça de fusão, o que desfavorece a soldagem fora da posição plana (MARQUES et. al., 2005).

3.5.1 Classificação dos Eletrodos (segundo AWS)

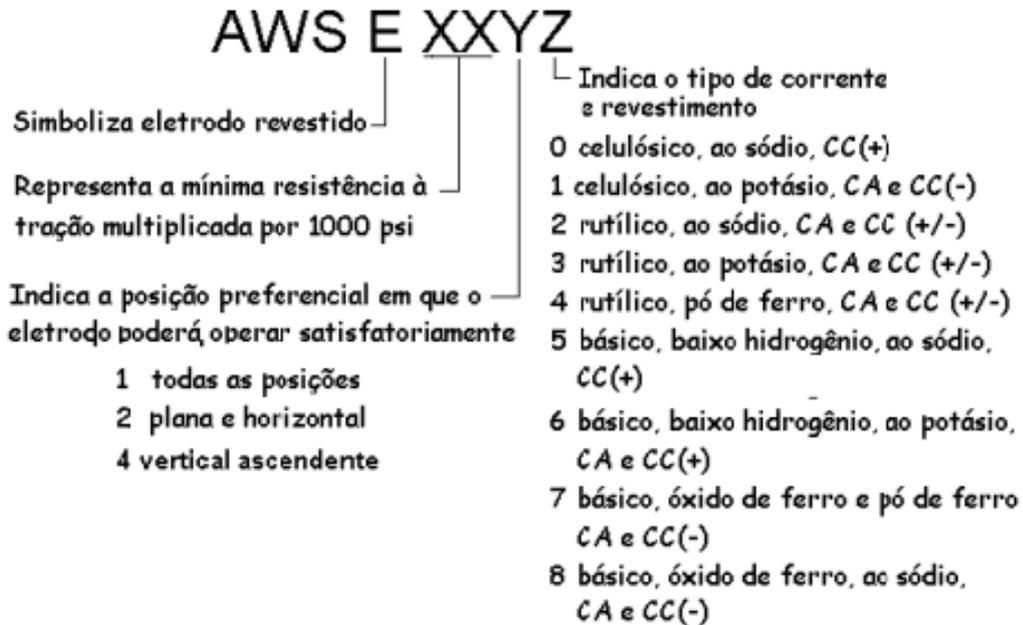
A norma para eletrodos da AWS é a classificação utilizada pelo mercado brasileiro atualmente. Esta norma divide os mesmos em oito grupos: eletrodos revestidos para soldagem a arco de aços carbonos (AWS A 5.1), do alumínio e suas ligas (AWS A 5.3), de aços inoxidáveis (AWS A 5.4), de aços de baixa liga (AWS A 5.5), de cobre e suas ligas (AWS A 5.6) e de níquel e suas ligas (AWS A 5.11), para revestimentos por soldagem a arco (AWS A 5.13) e eletrodos e varetas para soldagem do ferro do ferro fundido (AWS A 5.15) (MARQUES et. al., 2005).

Para o grupo AWS A 5.1, o qual representa os eletrodos que serão abordados neste trabalho (E6013 e E7018), a norma apresenta uma nomenclatura. Um esquema explicativo sobre esta designação é mostrado na Figura 7.

A identificação do eletrodo se inicia com a letra “E”, isto indica que o consumível utilizado é um eletrodo, seguida de um conjunto de dois ou três algarismos, os quais representam o limite de resistência à tração mínima do metal que será depositado (em ksi, equivalente a 1.000 psi). Portanto, se um eletrodo depositar uma solda e a mesma apresentar uma resistência mecânica de, por exemplo, 60.000 psi, ele será classificado como E 60YZ (se fosse 100.000 psi seria E 100YZ). O próximo algarismo as posições de soldagem em que o eletrodo pode ser utilizado e, conforme representado na Figura 7, pode ser 1 (para soldagem em todas as posições), 2 (para soldagem nas posições plana e horizontal) ou 4 (para soldagem nas posições plana, horizontal vertical descendente). E, finalmente, o último algarismo, que

indica o tipo de revestimento aplicado e a corrente a utilizar (a identificação de cada número, de 0 a 8, está representada na Figura 7) (MARQUES et. al., 2005).

Figura 7 – Esquema de classificação dos eletrodos do grupo AWS A 5.1.



Fonte: Disponível em: < http://ivanilzafe.dominiotemporario.com/doc/ApostilaSMAW_01.pdf>.

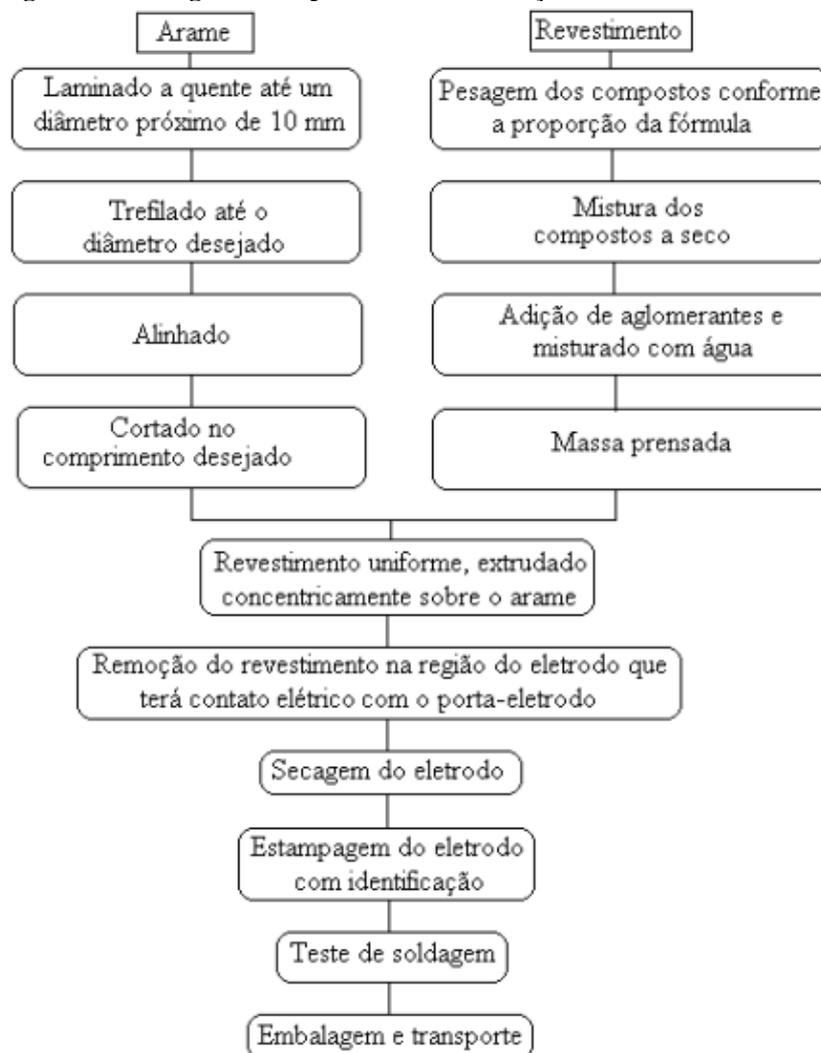
3.5.2 Fabricação do Eletrodo

A fabricação dos consumíveis do processo SMAW é bastante complexa, devido aos variados tipos e aplicações, sendo que cada um exigirá determinadas considerações. Um fluxograma simplificado pode ser observado na Figura 8 (FELIZARDO, 2003).

De uma maneira mais completa, o processo inicia-se com a seleção e testes de qualidade das matérias-primas (os minerais e os compostos para o revestimento), arame para a confecção da alma e do ligante. Realiza-se a pesagem e a mistura do material do revestimento, seguindo a formulação estabelecida do eletrodo a ser fabricado, com posterior adicionamento do ligante para a obtenção de uma massa consistente, para que a mesma seja introduzida à máquina de extrusão. Simultaneamente a este processo, o arame é submetido a um processo de trefilação com corte de seção ao final, para que o mesmo atinja o diâmetro e tenha o comprimento estabelecido para a alma. Feito isto, também é levado à linha de extrusora. Nesta etapa da fabricação, prensa-se a massa originária da preparação do revestimento e a extruda, concentricamente ao arame, o qual é alimentado à matriz para receber o recobrimento. Nesta linha, os eletrodos são produzidos em uma velocidade considerável, fabricando de 10 a 20 eletrodos por segundo. Ao saírem da extrusora, os eletrodos revestidos,

úmidos, são transportados por uma esteira até um forno, onde ocorrerá a cura do revestimento e secagem. O tempo de permanência no forno dependerá do tipo de revestimento utilizado. Após o ciclo térmico, os eletrodos recebem uma “impressão” para identificá-los e preparam-se as extremidades dos mesmos, para favorecer o contato elétrico e abertura do arco. Feito este procedimento, os produtos são testados (verificação da concentricidade, resistência do revestimento, entre outros testes) para se confirmar a qualidade do lote produzido e depois são direcionados para armazenagem e venda (MARQUES et. al., 2005).

Figura 8 – Fluxograma simplificado da fabricação de eletrodos revestidos.



Fonte: Disponível em: FELIZARDO, 2003.

Os eletrodos necessitam de cuidados especiais para o transporte e armazenamento. Devem-se evitar choques para que os revestimentos não sejam fraturados, inutilizando o eletrodo, além do cuidado com a umidade, pois a presença da mesma durante o procedimento de soldagem prejudica as propriedades finais do cordão de solda. Por isso os eletrodos

revestidos devem ser armazenados e transportados de forma segura evitando-se choques e em locais de umidade muito baixa (normalmente o armazenamento é feito em muflas).

3.5.3 E 6013

Eletrodo com revestimento rútilico, com elevado percentual de rutilo em sua composição e presença destacada para o potássio, pois isto permitirá uma maior estabilidade de arco com a utilização de CA. Projetado para gerar um arco de baixa penetração com transferência metálica suave, o que permite a realização do processo de soldagem em peças de pequena espessura, sem que se fure a mesma (FORTES, 2005).

A escória produzida é de fácil remoção. A qualidade superficial do cordão de solda é muito boa, se apresentando liso. Devido à característica de baixa penetração, este eletrodo pode ser utilizado para procedimentos nas posições vertical e sobre-cabeça com valores elevados de corrente (MACHADO, 1996).

Possui vasta aplicabilidade na soldagem de aços não ligados, devido às suas características. Entretanto, é basicamente aplicado em procedimentos para chapas finas, podendo utilizá-lo com diâmetro maior do que 3,2 mm para outras aplicações (MACHADO, 1996).

3.5.4 E 7018

Eletrodo com revestimento básico, do tipo de baixo hidrogênio com adição de pó de ferro em sua composição (até 40% da massa). Estes compostos no revestimento provocam uma melhor estabilidade do arco e facilitam a utilização em procedimentos em todas as posições (FORTES, 2005).

Como características operacionais, este eletrodo apresenta arco bastante suave, com baixas taxas de respingos, penetração média e escória densa de fácil remoção. O cordão de solda resultante da utilização do mesmo também apresenta características superficiais destacáveis. O revestimento também se apresenta higroscópico, por isso o eletrodo é baixo hidrogênio, se for devidamente ressecado antes do uso. Durante o procedimento, aconselha-se manter o arco o mais curto possível, para minimizar a presença de porosidades no cordão (FELIZARDO, 2009).

É aplicável à soldagem de aços carbono, alto carbono, alta resistência e de baixa liga (MACHADO, 1996).

CAPÍTULO 4

Equipamentos, Materiais e Metodologia

Nesse capítulo será apresentado o procedimento experimental realizado neste trabalho, o mesmo irá detalhar todos os equipamentos, materiais utilizados, além da metodologia aplicada.

4.1 Equipamentos

Os equipamentos utilizados para a confecção dos corpos de prova e realização dos cordões de solda foram:

- Serra Elétrica (fabricante ALJE);
- Esmeril;
- Fonte de Corrente Constante (modelo Soldarc R-250, S. A. White Martins, Figura 9);

Figura 9 – Fonte de corrente contínua utilizada nos experimentos.



Fonte: Elaborada pelo autor.

- Lixadeira manual (modelo Knuth Rotor, da fabricante Struers) apresentada na Figura 10.

Figura 10 – Lixadeira manual utilizada para preparação metalográfica.



Fonte: Disponível em: OLIVEIRA et. al., 2009.

- Politriz manual (modelo DP 9, também da fabricante Struers, Figura 11);

Figura 11 – Politriz manual utilizada para preparação metalográfica.



Fonte: Disponível em: DE SOUZA, 2014.

- Secador de cabelo;
- Microscópio com sistema de aquisição de imagens.

4.2 Materiais

Os materiais utilizados durante os procedimentos deste trabalho foram:

- Uma barra chata de aço SAE 1020 para a confecção dos corpos de prova, com 3 metros de comprimento, 50 mm de largura e, aproximadamente, ½' de espessura. A composição química deste material está apresentada na Tabela 3.
- Eletrodos AWS E 6013 nos diâmetros de 2,5 mm e 3,25 mm;

Tabela 3 – Composição química universal para aços SAE 1020.

| - | C (%) | Si (%) | Mn (%) | S _{max} (%) | P _{max} (%) |
|---------------------|-------|--------|--------|----------------------|----------------------|
| Aço SAE 1020 | 0,20 | 0,25 | 0,45 | 0,04 | 0,04 |

Fonte: Adaptado de: < http://www.acocorteacos.com.br/download/composicao_quimica.pdf>.

- Eletrodos AWS E 7018, também nos diâmetros de 2,5 mm e 3,25 mm;
- Lixas d'água de 120, 240, 320, 400 e 600 meshes, para a realização do lixamento das amostras;
- Pano com pasta de diamante de 3 µm, utilizado no procedimento de polimento dos CPs;
- Solução de Nital 5% para a realização dos ataques químicos nas amostras;
- Álcool, detergente, algodão, fita crepe, entre outros materiais utilizados.

4.3 Metodologia

4.3.1 Introdução

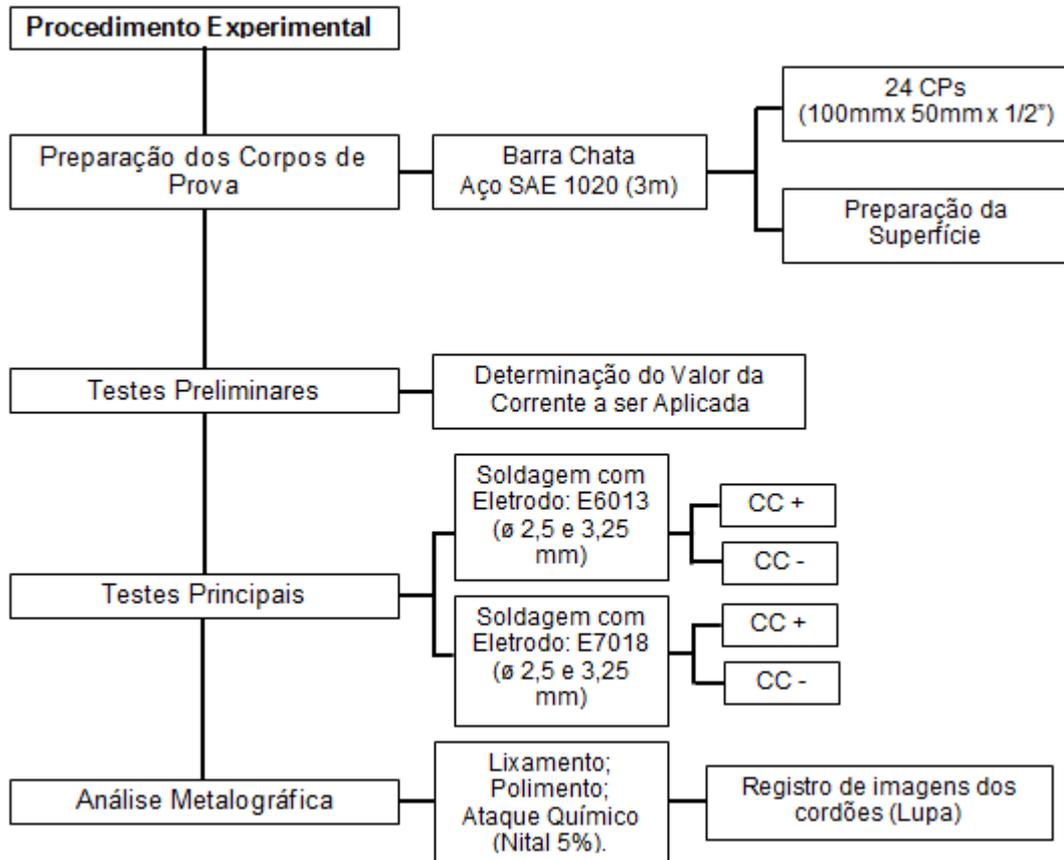
Este trabalho executou procedimento experimental com a finalidade de estudar a influência da polaridade utilizada no processo SMAW, com dois tipos de eletrodos listados no item 4.2, na morfologia do cordão de solda obtido. Para a realização dos cordões de solda sobre chapa foram preparados corpos de prova de SAE 1020. Para cada eletrodo e polaridade utilizados foram feitos cordões de solda sobre chapa, de forma manual, utilizando uma fonte de corrente constante analógica (Figura 9).

4.3.2 Fluxograma Experimental

Este trabalho foi desenvolvido experimentalmente em quatro etapas. A Figura 12 apresenta o fluxograma experimental detalhando todas as quatro etapas.

Uma representação esquemática da montagem experimental para a realização da soldagem com eletrodo revestido está representada na Figura 5. Para o procedimento deste trabalho utilizou-se um dispositivo de fixação do grampo de retorno e padronização do posicionamento dos CPs (Figura 13).

Figura 12 – Fluxograma Experimental.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 13 – Dispositivo para fixação do grampo de retorno e posicionamento dos CPs.



Fonte: Elaborada pelo autor.

4.3.3 Procedimento Experimental

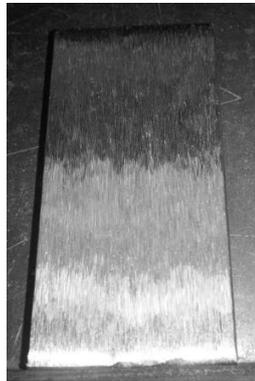
Neste tópico serão descritas cada etapa do fluxograma apresentado na Figura 12, detalhando o procedimento experimental, desde os parâmetros e equipamentos utilizados para

a soldagem aos métodos aplicados para a análise dos resultados.

4.3.3.1 Preparação dos corpos de prova

O material foi obtido em forma de barra chata de três metros de comprimento, o qual foi cortado com o auxílio de uma serra elétrica. Foram cortados 24 corpos de prova. Como a superfície dos corpos de prova após os cortes estavam bastante oxidadas, as mesmas foram esmerilhadas para que o contato elétrico durante o processo de soldagem não fosse prejudicado (Figura 14).

Figura 14 – Corpos de prova com a superfície preparada.



Fonte: Elaborada pelo autor.

4.3.3.2 Testes preliminares

Após a preparação dos corpos de prova, foram realizados alguns testes iniciais para definir o valor da corrente que seria utilizada nos testes oficiais. Estes testes iniciais foram feitos somente para o eletrodo de 2,5 mm de diâmetro.

Foram testados alguns valores de corrente, até a determinação de um valor considerado aplicável, ou seja, um valor que poderia obter um cordão de aspecto visual bom.

A partir deste valor de corrente e de estimativas, estabeleceu-se o valor que deveria ser aplicado para os eletrodos com diâmetro de 3,25 mm.

A Tabela 4 mostra os valores de correntes aplicados para cada diâmetro.

Tabela 4 – Correntes aplicadas nos ensaios.

| | | |
|----------------------------------|-----|-------|
| Diâmetro do eletrodo (mm) | 2,5 | 3,25 |
| Corrente aplicada (A) | 95 | 123,5 |

Fonte: Elaborada pelo autor.

4.3.3.3 Testes principais

Após a preparação dos CPs e a determinação dos parâmetros que seriam utilizados nos testes oficiais, pode-se dar início ao procedimento de soldagem SMAW.

Para que não houvesse variações do ajuste dos parâmetros de soldagem na máquina, variações com relação às condições de umidade e temperatura, optou-se por fazer todos os cordões de solda no mesmo dia.

A Figura 15 mostra a aparência dos cordões de solda realizados com o eletrodo E 6013 de 2,5 mm de diâmetro com polaridade positiva no eletrodo. Já a Figura 16 mostra a aparência dos cordões de solda realizados com o eletrodo E 7018 de 2,5 mm de diâmetro e polaridade positiva no eletrodo.

Figura 15 – Cordões de solda realizados com o eletrodo E 6013 (2,5 mm de diâmetro e polaridade positiva no eletrodo).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Após a realização destes testes, a polaridade foi invertida, trocando-se, manualmente, a ligação do porta-eletrodo com a do grampo de retorno. Deste modo, o eletrodo passou para a polaridade negativa. Novamente, adotou-se o mesmo procedimento, primeiro com o E 6013 e depois com E 7018 (de 2,5 mm). As figuras 17 e 18 mostram os aspectos dos respectivos cordões obtidos nestas condições.

Finalizado os testes com os eletrodos de 2,5 mm, passou-se aos experimentos com os eletrodos de 3,25 mm de diâmetro. A polaridade foi mantida, alterando-se apenas o valor da corrente aplicada, passando-a para o valor de, aproximadamente, 123,5 A. As aparências dos cordões de solda obtidos podem ser visualizadas nas figuras 19 (E 6013) e 20 (E 7018).

Por último, inverteu-se novamente a polaridade do sistema, ou seja, passou o eletrodo novamente para a polaridade positiva. Com o mesmo procedimento adotado anteriormente, os

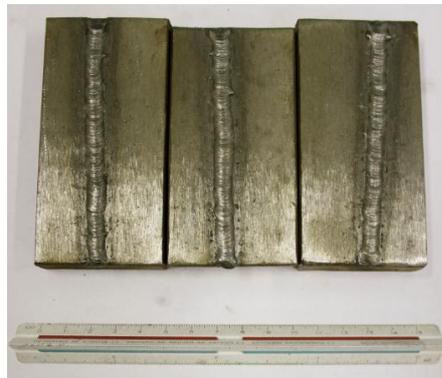
CPs forma soldados com os eletrodos E 6013 e E7018. Os aspectos dos cordões nestas condições podem ser observados, respectivamente, nas figuras 21 e 22.

Figura 16 – Cordões de solda realizados com o eletrodo E 7018 (2,5 mm de diâmetro e polaridade positiva no eletrodo).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 17 – Cordões de solda realizados com o eletrodo E 6013 (2,5 mm de diâmetro e polaridade negativa no eletrodo).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 18 – Cordões de solda realizados com o eletrodo E 7018 (2,5 mm de diâmetro e polaridade negativa no eletrodo).



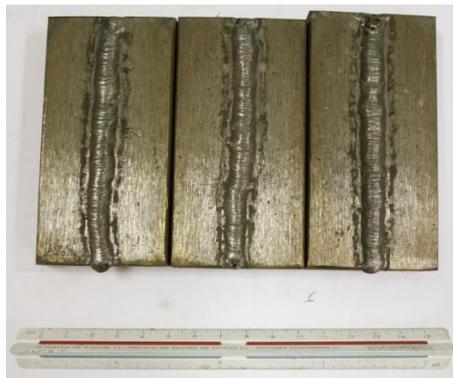
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 19 – Cordões de solda realizados com o eletrodo E 6013 (3,25 mm de diâmetro e polaridade negativa no eletrodo).



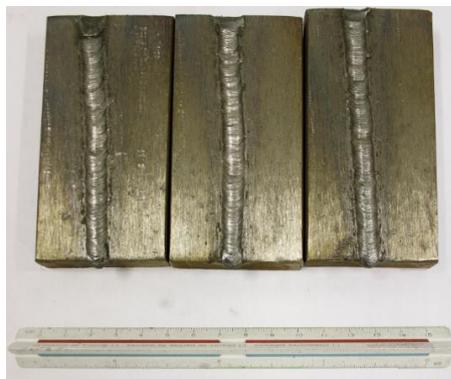
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 20 – Cordões de solda realizados com o eletrodo E 7018 (3,25 mm de diâmetro e polaridade negativa no eletrodo).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 21 – Cordões de solda realizados com o eletrodo E 6013 (3,25 mm de diâmetro e polaridade positiva no eletrodo).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Após limpeza, todos os corpos de prova foram identificados utilizando-se um pulsão com numeração.

Figura 22 – Cordões de solda realizados com o eletrodo E 7018 (3,25 mm de diâmetro e polaridade positiva no eletrodo).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Como a diferença de aspecto dos cordões obtidos com os eletrodos E 6013 e E7018 era visível, a identificação foi feita levando-se em conta a polaridade e o eletrodo utilizado.

A Tabela 5 mostra a identificação adotada para estes critérios.

Tabela 5 – Identificação dos grupos de CPs (levando-se em conta os critérios adotados).

| Diâmetro (mm) | Polaridade do eletrodo | Identificação (Nº de marcações) |
|----------------------|-------------------------------|--|
| 2,5 | Positiva | 1 |
| | Negativa | 2 |
| 3,25 | Negativa | 3 |
| | Positiva | 4 |

Fonte: Elaborada pelo autor.

4.3.3.4 Macrografia dos cordões

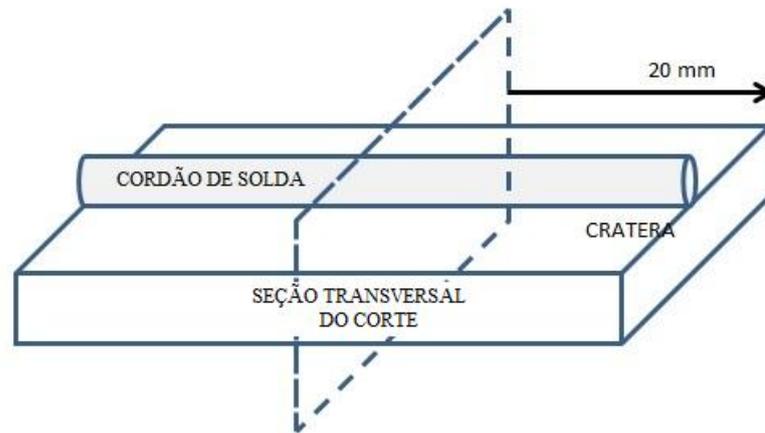
Para fazer as macrografias foram realizados alguns procedimentos de preparação dos corpos de prova. A primeira etapa foi definir onde seriam feitos os cortes nos corpos de prova para a realização das análises macrográficas do cordão. Após a análise visual dos cordões, ficou determinado que os CPs seriam cortados a uma distância de aproximadamente 20mm da cratera do cordão de solda (Figura 23).

Após os cortes, todas as peças foram lavadas com detergente para que fosse feita a remoção do óleo lubrificante/refrigerante utilizado durante o corte. A partir das marcações feitas com pulsão, cada grupo de eletrodo com seus respectivos diâmetros, foram designados em A, B e C, para facilitar a identificação dos corpos de prova.

A preparação da superfície para a análise da geometria do cordão de solda foi feita

utilizando as técnicas macrográficas, ou seja, lixamento das amostras utilizando as lixas de 120, 240, 320, 400 e 600 meshes e uma lixadeira manual.

Figura 23 – Esquema representativo do corte dos CPs.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O procedimento para o lixamento se deu da seguinte forma: todas as amostras foram lixadas na lixa de 120 meshes, e em seguida foram lavadas com detergente e álcool, secadas com o auxílio de um secador e armazenadas em um recipiente, com um algodão preso à superfície lixada com fita crepe. O mesmo procedimento foi adotado para as lixas de 240, 320, 400 e 600 meshes, nesta sequência.

Em seguida, com o auxílio de uma politriz manual e um pano com a pasta de diamante de 3 μm , realizou-se o polimento de todas as amostras. Durante o polimento foi utilizado álcool para manter o sistema limpo. Após o polimento de cada CP, o mesmo foi novamente lavado com detergente e álcool, secado com o secador e armazenado com algodão sobre a superfície polida. Estas duas primeiras etapas foram realizadas no Laboratório de Metalografia do DEMAT do CEFET-MG.

Após o lixamento e polimento dos corpos de prova, as amostras foram submetidas a ataques químicos para a análise da morfologia do cordão de solda. Esta etapa foi realizada no Laboratório de Robótica, Soldagem e Simulação da Universidade Federal de Minas Gerais (LRSS). Para o ataque químico foi utilizada uma solução de Nital 5% (5 mL HNO_3 + 95 mL Álcool Etílico), por imersão.

Cada amostra foi analisada com o auxílio de um microscópio com aumento de 15 vezes, com sistema de aquisição de imagens, a partir de uma câmera acoplada ao equipamento e conectada ao computador.

Após este procedimento metalográfico, as imagens obtidas foram analisadas, para que assim, fossem estabelecidas conclusões sobre os resultados obtidos.

CAPÍTULO 5

Resultados e Discussões

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos das análises dos cordões de solda.

5.1 Aspectos Superficiais dos Cordões

Após o procedimento de soldagem, foi possível realizar o registro de algumas observações sobre os aspectos dos cordões, como por exemplo, a diferença de aspecto entre as amostras soldadas com os eletrodos E 6013 e E 7018 e a comparação da largura dos mesmos nas diferentes polaridades utilizadas. Uma visão geral dos CPs pode ser observada na Figura 24.

A partir das análises feitas sobre esta imagem (onde 1(a), 1(b), 2(c) e 2(d) foram soldados na polaridade positiva e 2(a), 2(b), 1(c) e 1(d) com o eletrodo na polaridade negativa), foi possível observar algumas diferenças quando se comparava os mesmos eletrodos nas duas polaridades. A principal diferença foi a variação de largura entre os cordões de solda. Em (a) e (c) esta diferença não ficou muito evidente com a troca da polaridade. Já para (b) e (d) observou-se que a variação da largura do cordão foi superior. Em ambos os casos (E 7018 com 2,5 e 3,25 mm de diâmetro) os cordões que apresentaram maior largura foram aqueles soldados na polaridade positiva, 1(b) e 2(d), sendo que a diferença em (b) foi maior e mais fácil de ser visualizada.

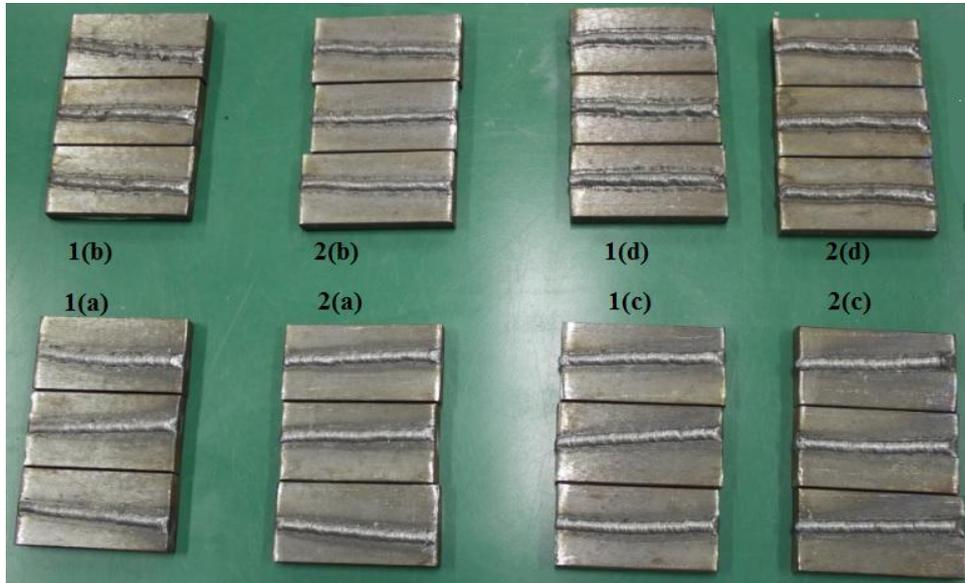
5.2 Análises Macrográficas

O principal objetivo das análises macrográficas é diferenciar a morfologia dos cordões (principalmente a altura do reforço), em especial das amostras soldadas com o mesmo eletrodo (tipo e diâmetro), porém nas duas polaridades.

A Figura 25 mostra o perfil dos cordões de solda com eletrodo E 6013 de 2,5 mm de diâmetro nas duas polaridades. Essas marcações foram traçadas na própria Figura 25 para facilitar a visualização da altura do reforço obtido.

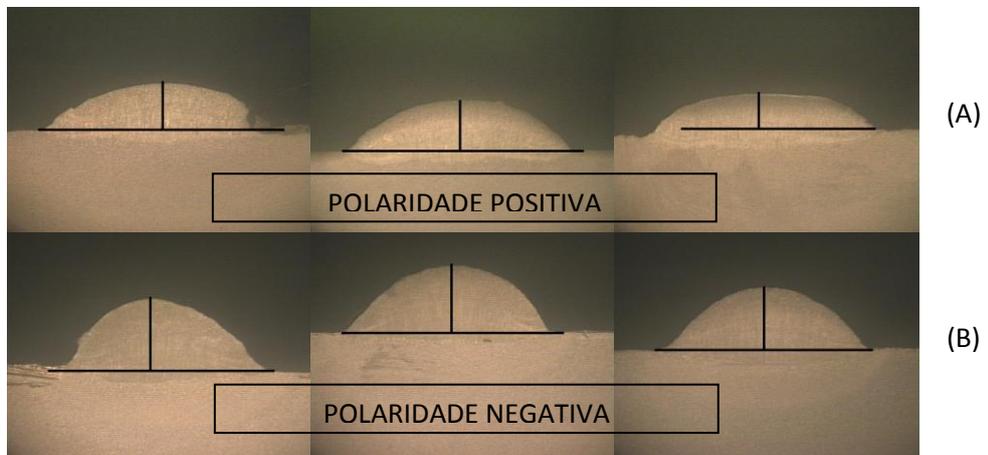
É possível observar que o cordão feito com o eletrodo E 6013 resultou em uma altura do reforço maior na polaridade negativa do que na polaridade positiva.

Figura 24 – Visão geral dos CPs. Em (a) tem-se as amostras soldadas com o eletrodo E 6013 de 2,5 mm nas duas polaridades; (b) as soldadas com E 7018, também de 2,5 mm nas duas polaridades; as soldadas com os eletrodos E 6013 e E7018 de 3,25 mm nas duas polaridades estão representadas, respectivamente, em (c) e (d).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 25 – Macrografia dos cordões de solda com eletrodo E 6013 de 2,5 mm de diâmetro.



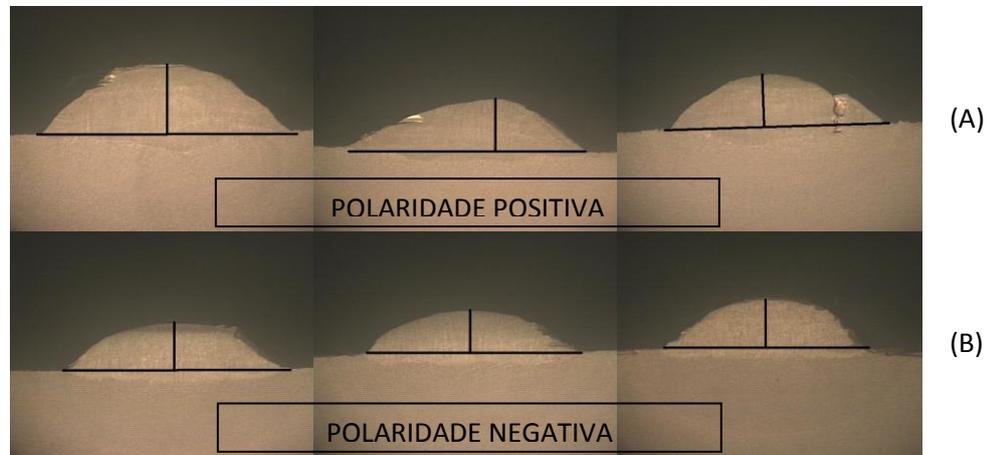
Fonte: Elaborado pelo autor.

Observando a Figura 25, pode-se verificar que a largura dos CPs soldados com a polaridade positiva é ligeiramente superior do que da largura obtida quando os CPs foram soldados com a polaridade negativa. Entretanto, esta diferença é muito pequena quando se comparada à discrepância da altura dos reforços.

Comparando-se os cordões obtidos pela soldagem com o eletrodo E 7018 de 2,5 mm (Figura 26), a qual apresenta marcações para facilitar a visualização do cordão, nota-se que com estas condições, a maior altura do reforço pôde ser visualizada quando se utilizou o

eletrodo na polaridade positiva.

Figura 26 – Macrografia dos cordões de solda com eletrodo E 7018 de 2,5 mm de diâmetro.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Porém, alguns pontos devem ser observados nesta Figura 26. Pode-se notar que os cordões feitos com polaridade positiva tiveram uma dispersão maior dos resultados, sendo que uma das macrografias (principalmente a imagem central do grupo A) apresentou uma altura parecida com as alturas do grupo B, ficando bem próxima da altura da imagem da direita do grupo B.

Outro aspecto observado na Figura 26 é que os cordões feitos com a polaridade positiva apresentaram uma largura ligeiramente superior do que a largura dos CPs soldados com a polaridade negativa.

Em seguida foram analisadas as imagens macrográficas dos CPs soldados com o eletrodo E 6013, mas agora com 3,25 mm de diâmetro. Entretanto, espera-se que os mesmos se comportem de maneira semelhante às amostras da Figura 25. A Figura 27 apresenta estas imagens.

O CPs soldados com o eletrodo E 6013 (3,25 mm) apresentaram morfologia semelhantes entre si. Porém, considerando-se as imagens central e da esquerda do grupo A e central e da direita do grupo B, observa-se uma altura ligeiramente maior nas duas primeiras.

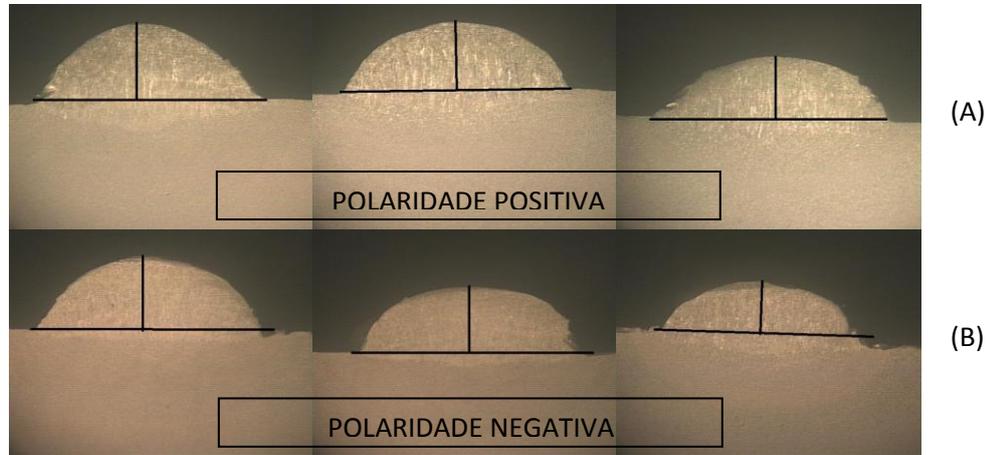
Por último, foram realizadas as imagens macrográficas das amostras soldadas com eletrodos E 7018 com 3,25 mm de diâmetro. Tais imagens podem ser visualizadas na Figura 28.

Pela análise da Figura 28, observa-se que os cordões obtidos com o eletrodo na polaridade negativa apresentaram o reforço maior, se comparados ao grupo A.

As tabelas 6 e 7 mostram resultados qualitativos obtidos das relações de alturas e

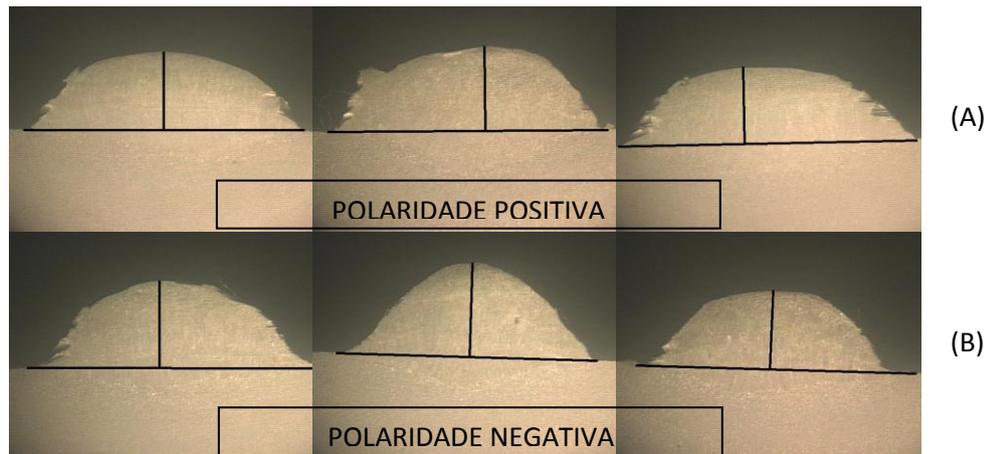
larguras dos cordões, a partir das combinações de eletrodos e polaridade utilizada.

Figura 27 – Macrografia dos cordões de solda com eletrodo E 6013 de 3,25 mm de diâmetro.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 28 – Macrografia dos cordões de solda com eletrodo E 7018 de 3,25 mm de diâmetro.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 6 – Resultados obtidos – altura dos cordões a partir das combinações de eletrodos e polaridade utilizada.

| Eletrodo Utilizado | Polaridade do eletrodo | Maior Reforço do Cordão |
|---------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| E 6013 Ø 2,5 mm | Positiva | |
| | Negativa | X |
| E 7018 Ø 2,5 mm | Positiva | X |
| | Negativa | |
| E 6013 Ø 3,25 mm | Positiva | X |
| | Negativa | |
| E 7018 Ø 3,25 mm | Positiva | |
| | Negativa | X |

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 6 – Resultados obtidos – largura dos cordões a partir das combinações de eletrodos e polaridade utilizada.

| Eletrodo Utilizado | Polaridade do eletrodo | Maior Largura do Cordão |
|---------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| E 6013 Ø 2,5 mm | Positiva | X |
| | Negativa | |
| E 7018 Ø 2,5 mm | Positiva | X |
| | Negativa | |
| E 6013 Ø 3,25 mm | Positiva | X |
| | Negativa | |
| E 7018 Ø 3,25 mm | Positiva | X |
| | Negativa | |

Fonte: Elaborada pelo autor.

CAPÍTULO 6

Conclusão

A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que:

- Os resultados obtidos na soldagem com os eletrodos de 2,5 mm de diâmetro mostraram que os cordões feitos com E 6013 apresentaram maior altura de reforço com a polaridade negativa, enquanto que os soldados com E 7018 apresentaram maior altura quando a soldagem foi feita na polaridade positiva. Portanto, pode-se afirmar que nem todos os eletrodos revestidos comerciais apresentam uma maior altura de reforço quando se utiliza polaridade direta (negativa), como já foi afirmado por Felizardo (2003), a partir de dados experimentais.
- Todas as amostras com cordões de solda feitos na polaridade positiva, tanto para o E 6013, quanto para o E 7018, apresentaram uma largura do cordão superior se comparada aos cordões obtidos com os mesmos eletrodos na polaridade negativa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AÇOCORTE. Composição Química Aproximada. **Açocorte Ferro e Aço Ltda.** 2014. Disponível em: <http://www.acocortecos.com.br/download/composicao_quimica.pdf>. Acesso em: fev. 2014.

COSTA, Maria Celeste Monteiro de Souza. **Fenômenos de Instabilidade do Arco na Soldagem GMAW com Gases de Baixo Potencial de Oxidação.** Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, junho de 2006.

DE SOUZA, Fernanda de Carvalho Panzeri Pires. **Manipulação e confecção de corpos-de-prova e realização de ensaios de diversas naturezas com materiais dentários de várias procedências.** USP: Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto. Disponível em <http://www.forp.usp.br/pesquisa/index.php%3Foption=com_content&view=article&id=179:laboratorio-de-pesquisa-qprof-dr-heitor-panzieri&catid=9:dmdp&Itemid=7.html>. Acesso em: fev. 2014.

ELIESER, Tadeu. Eletrodo Revestido (SMAW)- Parte 2- Histórico. **Blog do Tadeu Elieser,** 10 de janeiro de 2010. Disponível em: <<http://tadeuelieser.blogspot.com.br/2010/01/soldagem-por-eletrodo-revestido-teve.html>> Acesso em: ago. 2013.

FELIZARDO, Ivanilza. **Estudo Experimental e Numérico do Aquecimento de Eletrodos Revestidos durante a Soldagem.** Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 20 de fevereiro de 2013. Disponível em: <http://ivanilzafe.dominiotemporario.com/doc/Tese_IvanilzaFelizardo.pdf>. Acesso em: ago. 2013.

FELIZARDO, Ivanilza. **Processo de Soldagem com Eletrodo Revestido.** 2009. Disponível em: <http://ivanilzafe.dominiotemporario.com/doc/ApostilaSMAW_02_Mais_completa.pdf>. Acesso em: ago. 2013.

FELIZARDO, Ivanilza. **Processo de Soldagem com Eletrodo Revestido. Shield Metal Arc Welding – SMAW.** 2006. Disponível em: <http://ivanilzafe.dominiotemporario.com/doc/ApostilaSMAW_01.pdf>. Acesso em: ago. 2013.

FOGAGNOLO, João Batista. **Introdução a Processos e Metalurgia da Soldagem (Apostila 1).** UNICAMP, ago. 2011. Disponível em: <<ftp://ftp.fem.unicamp.br/pub/Fogagnolo/apostila%20de%20soldagem.pdf>>. Acesso em: ago. 2013.

FORTES, Cleber. **Eletrodos Revestidos**. ESAB BR, 3 de fevereiro de 2005. Disponível em: <http://www.esab.com.br/br/por/Instrucao/apostilas/upload/1901097rev0_ApostilaEletrodosRevestidos.pdf>. Acesso em: ago. 2013.

MACHADO, Ivan Guerra. **Soldagem & Técnicas Conexas: Processos**. Porto Alegre; [s.n.], 1996.

MARQUES, Paulo Villani; MODENESI, Paulo José; BRACARENSE, Alexandre Queiroz. **Soldagem. Fundamentos e Tecnologia**. 3 ed. Belo Horizonte; Editora UFMG, 2011.

OLIVEIRA, Dilcian Gomes Ribeiro; SOBRAL, Maria Dorotéia Costa. **Tecnologia dos Materiais**. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Bahia: Departamento de Tecnologia Mecânica e Materiais. 2009. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfINcAE/tecnologia-dos-materiais-ifba?part=7>>. Acesso em: fev. 2014.

OXIGÊNIO. **História da solda com eletrodos revestidos (SMAW- Shield Metal Arc Welding)**. Disponível em: <<http://www.oxigenio.com/guia-dos-eletrodos-revestidos/historia-do-processo-de-soldagem-com-eletrodo-revestido.htm>>. Acesso em: ago. 2013.

SOLDAGEM & BRASAGEM. **História da Soldagem**: 18 abril de 2012. Disponível em: <<http://soldagemebrasagem.blogspot.com.br/2012/04/historia-da-soldagem.html>>. Acesso em: ago. 2013.

UNISANTA. **Capítulo 1. Classificação dos Processos de Soldagem**. Disponível em: <<http://cursos.unisanta.br/mecanica/ciclo10/CAPIT1.pdf>>. Acesso em: ago. 2013.

UFSC. **CAP. II- O Arco Voltaico de Soldagem**. Disponível em: <http://emc.ufsc.br/~seff/graduando/soldagem/bibliografia/PScapII_ArcoV.pdf>. Acesso em: ago. 2013.

WAINER, Emílio; BRANDI, Sérgio Duarte; DE MELLO, Fábio Décourt Homem. **Soldagem – processos e metalurgia**. São Paulo; Ed. Edgard Bluncher LTDA, 1992.