

# 1 Introdução

Desde o início deste século é realizada a soldagem subaquática molhada e a partir dos anos 30, soldas de reparo (Machado, 1996). Com o início do emprego de plataformas submarinas para extração de petróleo e gás, esta nova tecnologia se expandiu enormemente. Somente para nomear, no Golfo do México existem mais de 4000 facilidades deste tipo, das quais quase 1000 pertencem somente a uma companhia, que afirma ser mais econômica que a soldagem hiperbárica seca, quando aplicada em profundidades de até cerca de 100m (Machado, 1996).

No Brasil, embora as maiores reservas de petróleo e gás encontram-se no mar com profundidades entre 400m e 1000m, a maior parte dos reparos ocorrem em lamina de água de até 40m porque são empregadas, predominantemente plataformas semi-submersíveis e navios como instalações de produção (Camerini, Santos, 1994). A soldagem subaquática molhada é uma técnica de reparo para as instalações de produção de petróleo e gás, reparo de navios, tubulações, portos e pontes. Sua maior vantagem frente a outros processos de soldagem se deve à sua simplicidade e facilidade de mobilização, já que permite ao operador-mergulhador trabalhar diretamente sobre as partes submersas das peças sem a proteção de um ambiente artificial, como na tradicional solda a seco. A principal limitação da soldagem molhada é a relativa pequena profundidade na qual pode ser executada e a dificuldade de obtenção de propriedades semelhantes à soldagem atmosférica.

## 1.1. Processo SMAW

A soldagem subaquática molhada pode ser realizada com vários processos de soldagem. Entretanto, conforme o estado atual da técnica o processo mais empregado é o Eletrodo Revestido ou SMAW (Shield Metal Arc Welding).

Os eletrodos revestidos são peças que estão constituídas de apenas dois elementos: uma alma metálica, de aço de baixo carbono e o revestimento composto de matérias orgânicas e/ou minerais, de dosagens bem definidas.

A alma metálica pode conter alguns elementos residuais, porém os teores de fósforo e enxofre devem ser muito baixos para evitar fragilização no metal de

solda. A matéria prima para a alma metálica é um fio-máquina laminado a quente na forma de bobinas, que é posteriormente trefilado a frio até o diâmetro adequado do eletrodo, retificado e cortado no comprimento adequado. A alma metálica tem como função conduzir à corrente elétrica e fornecer metal de adição para a junta.

Os revestimentos por sua vez são muito mais complexos em sua composição química, pois como eles possuem diversas funções, estas são conseguidas com a mistura dos diversos elementos adicionados. Uma das funções dos revestimentos é a função elétrica que permite a utilização de tensões em vazio baixas, assim como em trabalhos com corrente alternada (40 a 80 V), possibilitando uma redução do consumo de energia e aumento de segurança do soldador e também a continuidade e estabilidade do arco elétrico. Outra função dos revestimentos é a função metalúrgica que quando o revestimento funde cria uma “cratera” e uma atmosfera gasosa que protegem a poça de fusão do oxigênio e hidrogênio. O revestimento deposita escória que é mais leve que o metal fundido e que protege a poça de fusão de um resfriamento muito mais rápido. Esta escória também permite a liberação de gases retidos no interior do metal depositado, evitando a formação de poros e minimiza o endurecimento do material depositado por têmpera, consequência do rápido resfriamento. A escória também controla o contorno, uniformidade e a aparência geral do cordão de solda, particularmente importante nas juntas em ângulo. Por último os revestimentos têm função operatória ou mecânica que tem a ver com a formação da cratera durante a fusão e que influencia a facilidade da utilização do eletrodo, sobre as dimensões das gotas e a viscosidade da escória.

Os ingredientes dos revestimentos são cuidadosamente pesados, misturados a seco – mistura seca - e depois é adicionado o silicato de sódio e/ou potássio – mistura úmida – para logo ser compactada em um cilindro e extrudada sobre as varetas metálicas ou arames.

Os ingredientes que são usualmente empregados nos revestimentos podem ser classificados fisicamente, como líquidos e sólidos. Os líquidos são geralmente silicato de sódio e o silicato de potássio. Os sólidos são pós ou materiais granulados que se encontram livres na natureza, e precisam somente de concentração e redução de tamanho até o tamanho de partícula adequado.

Na soldagem subaquática molhada, a qualidade das soldas depositadas por este processo se vê prejudicada pelo fato do arco elétrico estar em contato direto com o meio aquoso. As altas temperaturas alcançadas por este processo fazem com que a água líquida entre em ebulição formando bolhas de vapor ao redor do arco elétrico. Observações feitas com cinematografia de alta velocidade do arco destas soldas molhadas revelaram que essas bolhas se desprendem com uma frequência de cerca de 13 Hz, por tanto, a poça de fusão está continuamente isolada do meio aquoso por uma dessas bolhas de vapor (Tsai e Masubuchi, 1979).

Na soldagem atmosférica, grande parte do calor dissipado ocorre por condução através do metal sólido, sendo somente uma pequena porção de calor perdida principalmente por convecção. As condições de transmissão de calor no caso da soldagem molhada são significativamente diferentes, como se revela na Figura 1 (Pope, Medeiros, Liu, 1995). Enquanto o metal depositado encontra-se dentro da bolha de vapor de água gerada pelo arco elétrico, a perda de calor ocorre de forma semelhante àquela na soldagem atmosférica. Contudo, à medida que o arco avança, o metal de solda passa a ficar em contato direto com a água, fazendo com que a perda de calor passe a ser por convecção. A elevada quantidade de calor, que passa a ser dissipada por convecção, altera a forma da poça de fusão, adquirindo esta uma forma de gota alongada, aumentando a susceptibilidade à fissuração a quente.

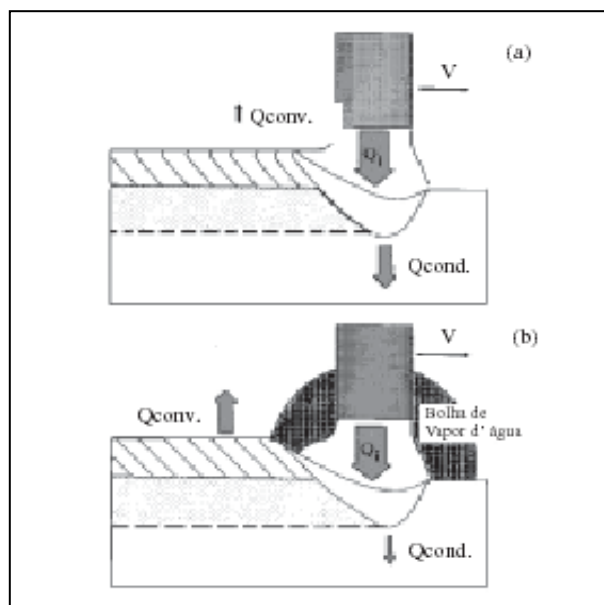


Figura 1 – Desenho esquemático mostrando a transmissão de calor na soldagem sob condição atmosférica (a) e subaquática (b) (Pope, Medeiros, Liu, 1995)

Pesquisadores (Gooch, 1983; Stalker, 1987; Nóbrega, 1981) realizaram experimentos em laboratório com eletrodos comerciais disponíveis, feitos com alma de aço ferrítico (revestimentos, rutílico, celulósico, básico, ácido e oxidante) e verificaram que os metais de solda obtidos utilizando eletrodos rútilicos apresentam maior tenacidade e resistência à tração. Os metais de solda obtidos usando eletrodos oxidantes apresentavam resistência a tração e tenacidade mais baixas, devido ao baixo teor de Mn, C e Si e menor teor de hidrogênio difusível resultante do caráter oxidante do revestimento. Devido a estes e outros resultados, existem duas frentes de pesquisa e desenvolvimento de eletrodos revestidos para soldagem subaquática molhada, uma a partir de eletrodos do tipo rutílico e concentra seus esforços na melhoria de procedimentos de soldagem que reduzam a dureza da zona termicamente afetada (ZTA). E outra que persegue uma melhoria da resistência mecânica e da tenacidade dos metais de solda realizados com eletrodos oxidantes, através da adição controlada de elementos de liga termodinamicamente mais estáveis que seus óxidos.

Os eletrodos rútilicos produzem juntas soldadas altamente susceptíveis a trincas por hidrogênio. Já os eletrodos com revestimento oxidante originam juntas soldadas com menor fissuração pelo hidrogênio. (Gooch, 1983; Stalker, 1987; Nóbrega, 1981) constataram que o teor de hidrogênio difusível no metal de solda obtido com eletrodos oxidantes é baixo (de menos de 10 a 20 ml/100g).

A motivação principal deste trabalho é verificar as alterações que ocorrem em algumas propriedades do metal de solda de eletrodos oxidantes ao substituir parcialmente a Hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) por Wustita ( $\text{FeO}$ ) na composição do revestimento dos eletrodos. São objetivos secundários a avaliação de um método simples de fabricar eletrodos revestidos em laboratório e também estudar comparativamente a quantificação geométrica de inclusões no metal de solda por microscopia ótica e microscopia eletrônica de varredura.

Este trabalho está dividido em nove capítulos. No segundo capítulo é apresentada uma breve revisão bibliográfica referente ao tema da dissertação. No capítulo três o objetivo do trabalho. No capítulo quatro são apresentados os materiais e o método experimental usado para o desenvolvimento do trabalho. No capítulo cinco os resultados obtidos, no capítulo seis a discussão. No capítulo sete as conclusões. A bibliografia no seguinte capítulo e os apêndices no capítulo nove.