

Microscopia Digital na Caracterização de Porosidade e Inclusões em Aços

Aluno: Júlia Nascimento Martins

Orientador: Sidnei Paciornik e Valter Rocha dos Santos

Introdução

A principal motivação do projeto é encontrar um eletrodo revestido de soldagem subaquática molhada capaz de soldar aços de maior teor de carbono equivalente sem risco de defeitos do tipo fissuração pelo hidrogênio e com boa soldabilidade operatória.

Apesar de serem feitas numerosas pesquisas e estudos a fim de melhorar as propriedades de solda molhada, a soldagem feita por eletrodos revestidos em contato direto com a água salina ainda causa diversas complicações na obtenção de juntas soldadas com qualidade estrutural plena, semelhante à qualidade atingida em juntas soldadas nas condições atmosféricas. Essas complicações ocorrem pelo fato do arco elétrico promover a dissociação da molécula da água em oxigênio e hidrogênio. Esses elementos (O-, H+) dissociados dissolvem-se no metal líquido durante a sua transferência da ponta do eletrodo para a poça de fusão ocasionando a formação de poros e alterações na microestrutura no metal de solda.

O hidrogênio, além de causar a formação de poros é responsável também pelo surgimento de uma zona afetada pelo calor (ZAC), essa zona está sujeita a elevada propensão ao trincamento devido à alta velocidade de resfriamento resultante da ação refrigerante da água durante a soldagem.

Logo, a prática da soldagem molhada pode comprometer as propriedades de tenacidade e resistência mecânica à tração. Esta situação ocorre dado que as microestruturas geradas na ZAC são de alta dureza e apresentam baixa tenacidade, estabelecendo grandes variações de dureza entre o metal de solda e a ZAC, conseqüentemente diminui a ductilidade.

A deterioração das propriedades mecânicas das juntas soldadas molhadas causada pelo contato direto com o meio aquoso, e conseqüente, pela quebra da molécula da água e as altas taxas de resfriamento imposto pelo meio aquoso, dá origem a acontecimentos que são explicitados na Figura 1. Os principais problemas que ocorrem na soldagem molhada são: fissuração induzida por hidrogênio, formação de poros, perda de elementos de liga e surgimento de inclusões não-metálicas. Vale salientar que nesse trabalho só serão estudados a porosidade e a formação de inclusões não-metálicas.

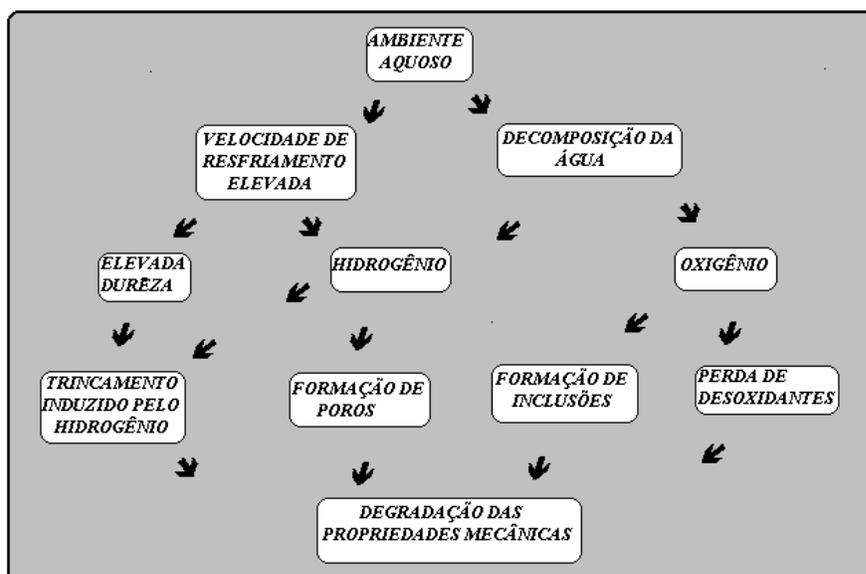


Figura 1 – Efeito do meio aquoso sobre as propriedades mecânicas de soldas subaquáticas molhadas, devido à dissociação da molécula da água pelo arco elétrico [1].

O trabalho foi realizado com base na análise por microscopia do metal de solda de amostras de soldagem subaquática molhada, sendo efetivado por meio de microscopia digital.

Dois tipos de características do material foram analisados: a presença de porosidade, através de microscopia óptica (MO), e de inclusões, através de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

O uso de rotinas feitas em sistemas de Processamento e Análise Digital de Imagens [2,3] foi fundamental para a quantificação dos poros e das inclusões. Logo, foram criados processos mais automáticos que tornaram mais eficientes o estudo de poros e de inclusões nos metais de solda.

No estudo da porosidade foi de suma importância à aquisição de mosaicos no Microscópio Óptico a fim de realizar uma quantificação dos poros mais precisa dado que a partir do mosaico podemos ter uma visão mais realista do metal de solda.

Entretanto, na quantificação de inclusões usamos imagens obtidas do MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura) pelo fato das inclusões, para serem observadas e analisadas com mais precisão, necessitarem de um aumento maior.

Materiais e Métodos Experimentais

A. Análise de Porosidade.

Os poros podem assumir tamanhos em uma grande faixa, desde μm até mm . A microscopia óptica é adequada para estas faixas de tamanho mas é difícil obter, em uma única imagem informação sobre objetos tão distintos. Optou-se por trabalhar no menor aumento oferecido pelo microscópio óptico, cerca de 50X, utilizando uma lente objetiva de 5X e uma câmera digital de 1300 x 1030 pixels, levando a uma resolução de 2,10 $\mu\text{m}/\text{pixel}$. Neste aumento o campo observado tem 2,75 x 2,18 mm^2 .

Mesmo em baixo aumento, diversos poros podem ser grandes comparados com a área de um campo. Além disso, a distribuição de poros é muito irregular. Assim, é importante capturar imagens que abranjam uma grande área da amostra, para evitar perda de representatividade.

A solução para estes requisitos é a aquisição de imagens em mosaico, conforme ilustrado na Figura 2. Os campos individuais podem ser identificados pelas fronteiras, e os poros aparecem como regiões escuras contra o fundo claro da chapa de aço. O software AxioVision, de controle do microscópio e da câmera, automaticamente desloca a amostra e captura imagens justapostas que são então concatenadas numa imagem de mosaico. Neste caso foram capturados $6 \times 9 = 54$ campos correspondendo a uma área total de cerca de $16 \times 19 \text{ mm}^2$.

A partir desta imagem é possível discriminar e medir os poros presentes conforme descrito mais adiante na seção de Resultados e Discussão. Uma rotina de análise de imagens foi desenvolvida para automatizar este procedimento. O programa AxioVision permite criar rotinas para realizar estas medidas.

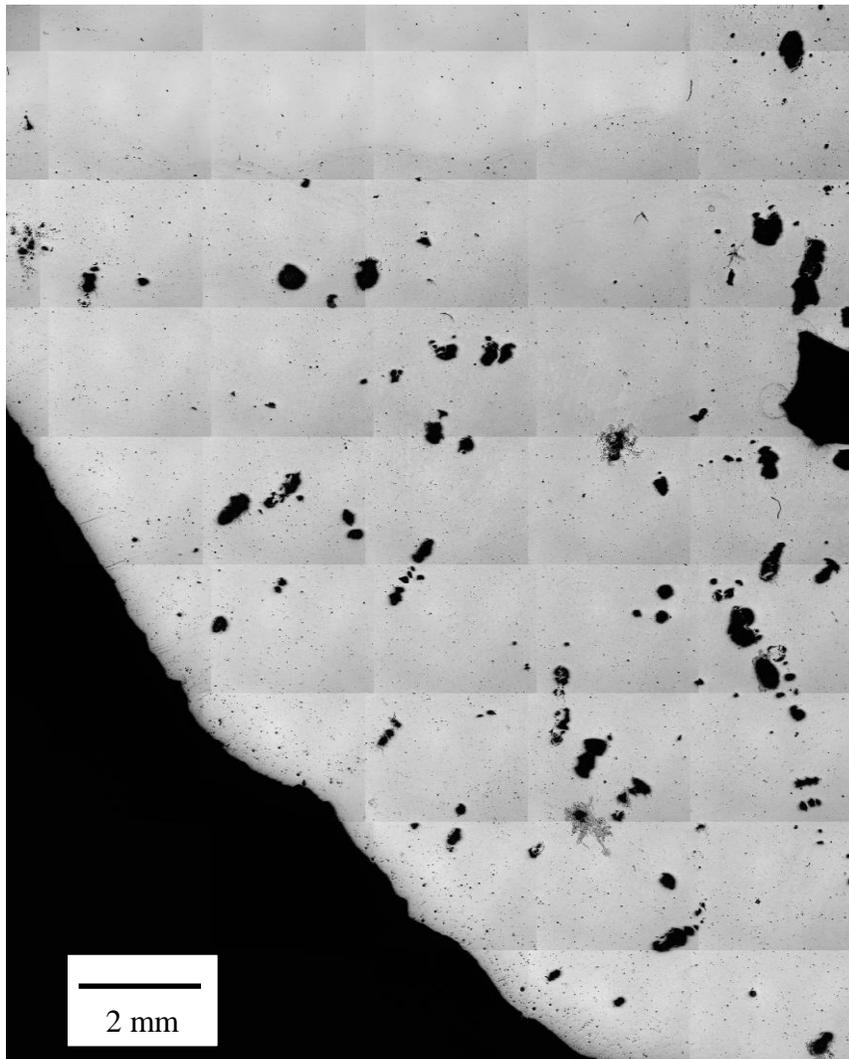


Figura 2 – Mosaico de imagens obtidas por MO para medida de porosidade

B. Análise de Inclusões.

As imagens para a quantificação das inclusões foram adquiridas no MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura) pelo fato das inclusões necessitarem para serem analisadas de um

aumento maior que não é possível no Microscópio Óptico. Assim, essas imagens foram capturadas com um aumento de 4000X e resolução de 0.02 μ m por pixel.

As amostras analisadas foram retiradas de chapas metálicas que foram soldadas por 5 tipos de eletrodos (A, W, T, S, N). De cada chapa foram extraídas 3 amostras (A, B, C). Em cada amostra foram obtidas 10 imagens em posições distintas. Portanto, de cada placa soldada foram capturadas e analisadas 30 imagens distintas. Excepcionalmente, para a chapa soldada com o eletrodo A, foram analisadas 50 imagens. A Figura 3 mostra um campo típico contendo inclusões.

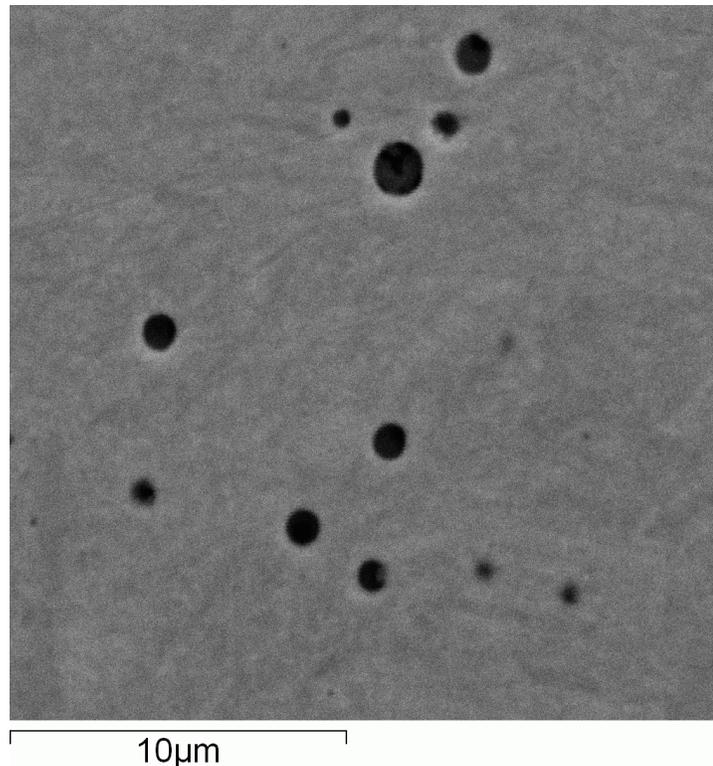


Figura 3 – Imagem de MEV mostrando um campo típico contendo inclusões

A partir dos conjuntos de imagens obtidas para cada eletrodo uma rotina de análise de imagens foi utilizada para automatizar a medida da quantidade, densidade e tamanho das inclusões. Neste caso foi utilizado o software KS400, através de uma “macro” desenvolvida especificamente para este tipo de análise.

Resultados e Discussão

A. Análise de Porosidade.

A partir da distribuição de tonalidades dos poros na imagem original é possível segmentar a imagem criando uma imagem binária na qual os poros aparecem como objetos brancos sobre um fundo escuro. Isto é ilustrado na Figura 4.

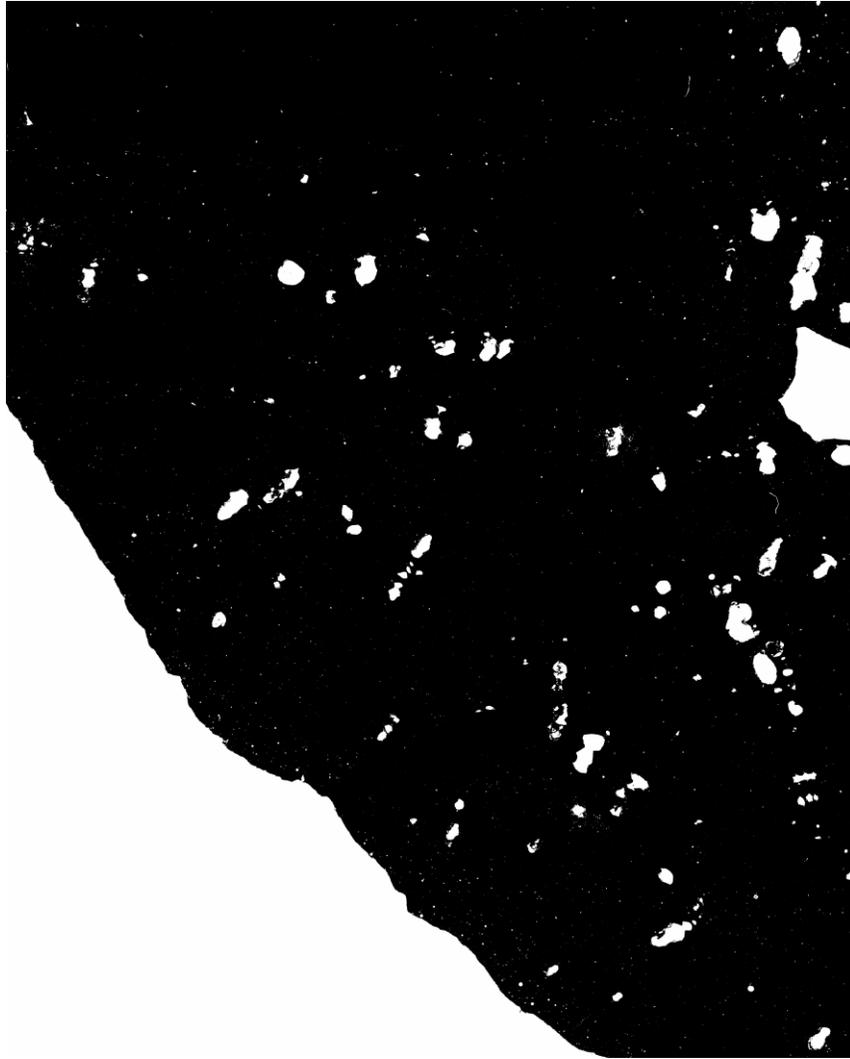


Figura 4 – Segmentação do mosaico apresentado na Figura 2

Quando foram capturadas as imagens do mosaico do metal de solda foram obtidas imagens da parte externa da amostra, isso ocorreu pelo fato da região almejada não possuir uma forma retangular que pode ser representada pelo mosaico. Esta parte da imagem foi eliminada durante o procedimento de medida.

As medidas realizadas foram: a fração da área total ocupada por poros, a área e o fator de forma circular de cada poro.

B. Análise de Inclusões.

Para uma automação do processo de quantificação das inclusões foi elaborada uma macro no software KS 400 que tem como principal função medir adequadamente as inclusões. A rotina da “macro” inclui três etapas o pré-processamento, a segmentação e o pós-processamento.

No pré-processamento foi utilizado o filtro sigma com a finalidade de diminuir o ruído da imagem. Em seguida realizou-se a segmentação através da técnica clássica de limiarização. Estes dois processo podem ser observados na figura 5.

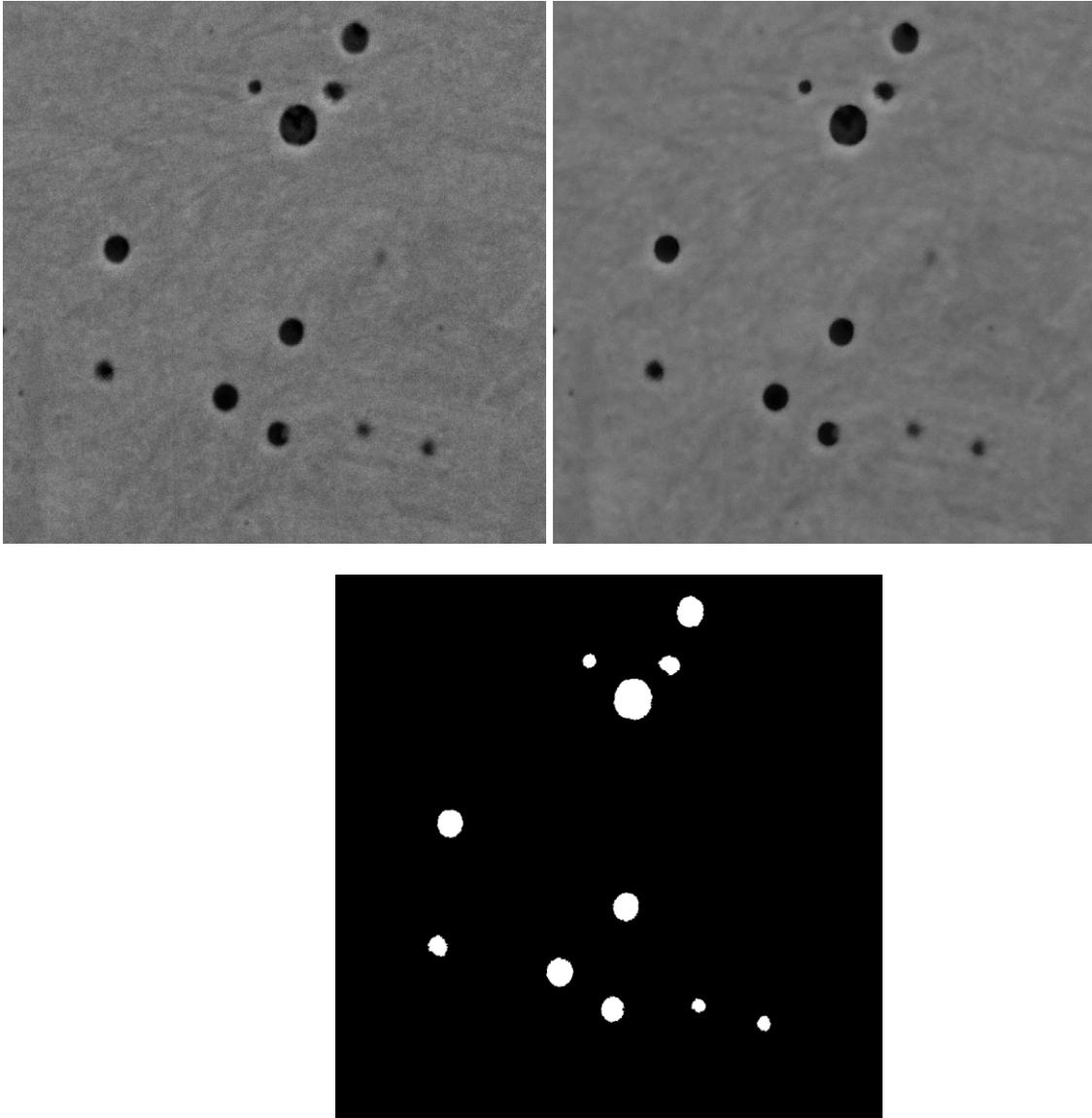


Figura 5 – No topo a esquerda está representada a imagem de MEV contendo inclusões, no topo a direita a imagem pré-processada e na linha de baixo a imagem segmentada.

As imagens segmentadas foram pós-processadas com o intuito de eliminar objetos espúrios, eliminar objetos que tocam a borda da imagem e separar objetos que se tocam com a finalidade de medir a fração da área total do campo ocupada pelas inclusões, a área e o fator de forma circular de cada inclusão. Vale ressaltar que só foram medidos objetos com fator de forma circular maior que 0.5.

Foram obtidos dados referentes a cada eletrodo e estes foram exportados para o programa Origin para uma análise gráfica e estatística das informações. A partir dessa análise foram feitos três histogramas para a representação da fração de área, do número e do diâmetro das inclusões. Estes três histogramas podem ser observados nas figuras 6, 7 e 8, respectivamente, para as amostras soldadas pelo eletrodo A.

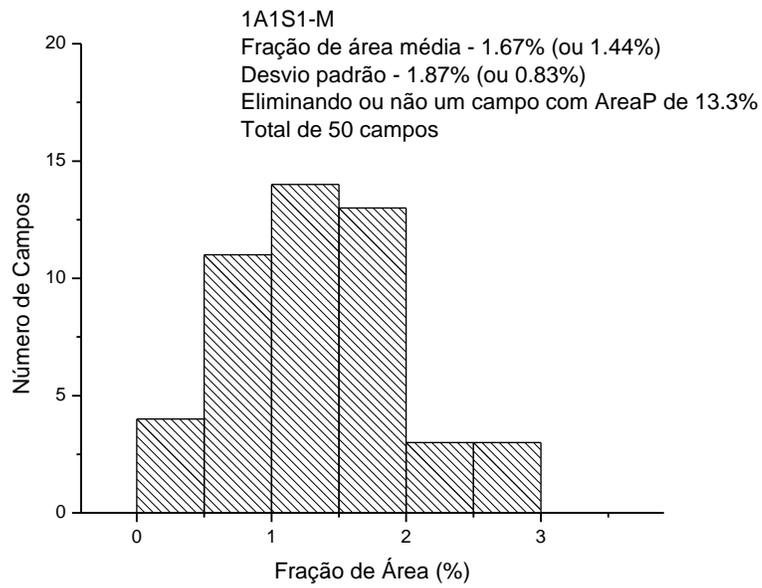


Figura 6 – Histograma da fração de área ocupada pelas inclusões.

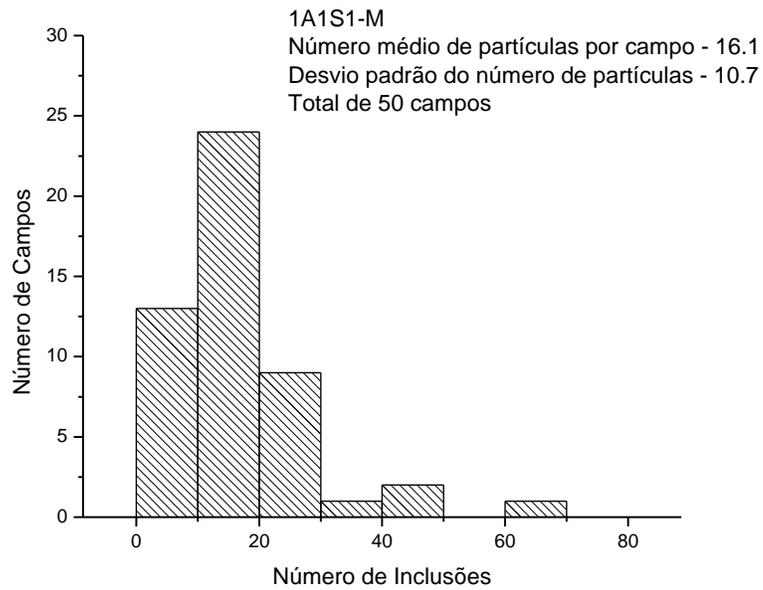


Figura 7 – Histograma do numero de inclusões por campo

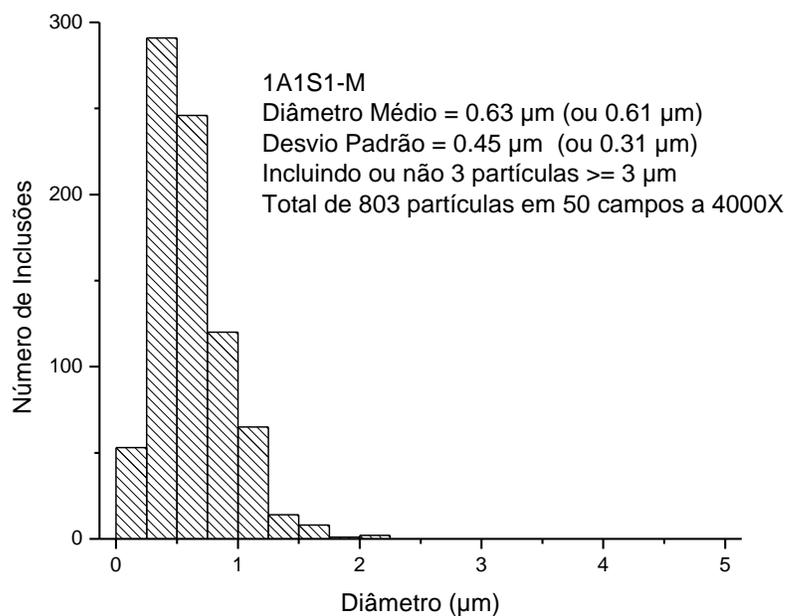


Figura 8 – Histograma do diâmetro das inclusões.

Com o intuito de comparar os eletrodos, os resultados obtidos para cada amostra soldada com o respectivo eletrodo foram combinados em gráficos comparativos, apresentados nas Figuras 9, 10 e 11, abaixo.

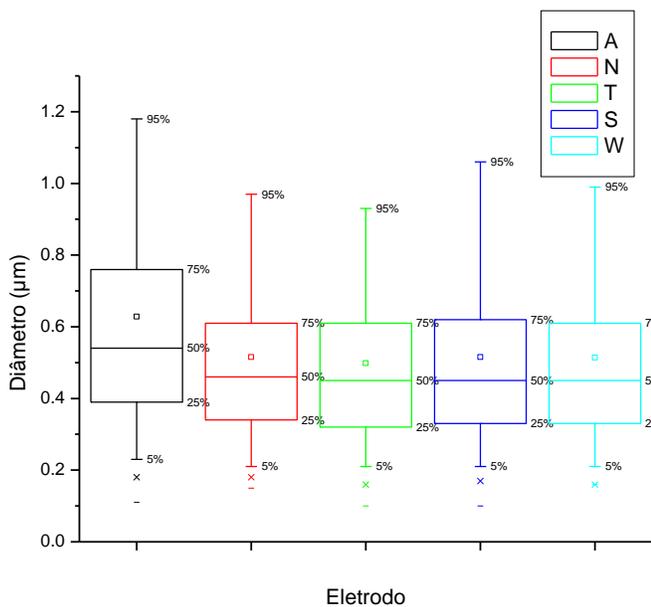


Figura 9 – Comparação entre eletrodos – diâmetro das inclusões

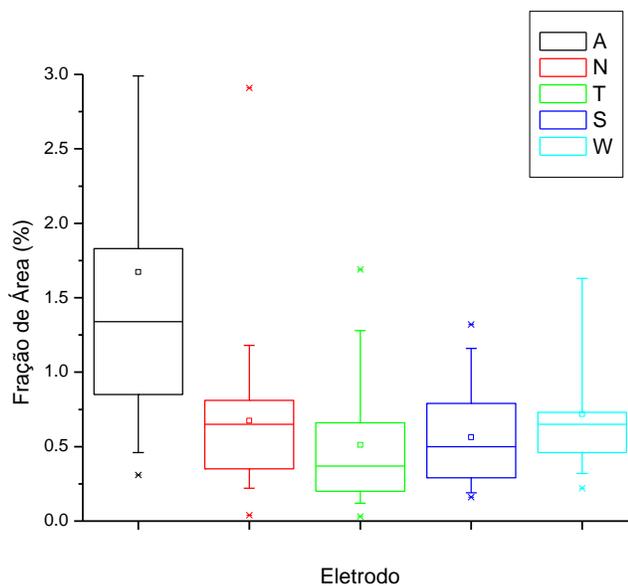


Figura 10 - Comparação entre eletrodos – fração de área ocupada por inclusões

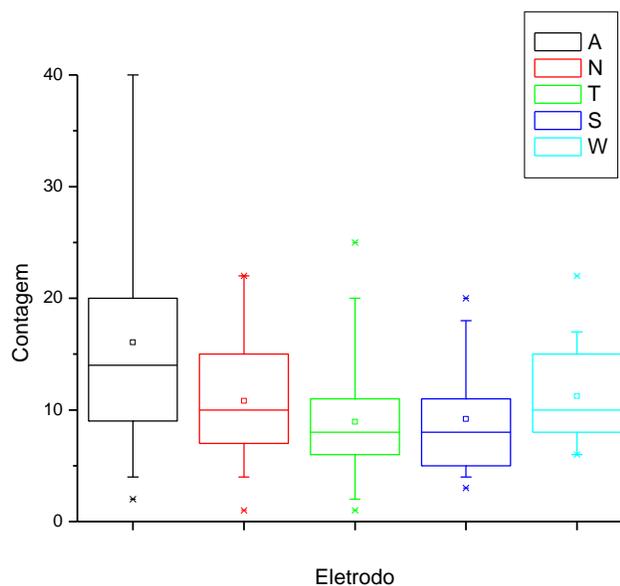


Figura 11 - Comparação entre eletrodos – número de inclusões

É possível notar que o eletrodo A tem características bem distintas dos outros eletrodos, apresentando valores maiores para os 3 parâmetros medidos. Os resultados foram também analisados estatisticamente a partir do test t de Student, com intervalo de confiança de 99%, e mostraram que o eletrodo A é significativamente distinto dos outros 4 eletrodos que, por sua vez, são equivalentes estatisticamente para os parâmetros medidos.

Conclusões

A metodologia utilizada permitiu medir com precisão os parâmetros de caracterização das inclusões. Estas medidas permitiram qualificar cada um dos eletrodos e também compará-los.

Esta mesma metodologia será aplicada a outros eletrodos em desenvolvimento.

Referências

- 1 - POPE, A.M. 1995b. Oxygen and hydrogen control in shielded metal underwater wet welding. Tese de Doutorado. Colorado School of Mines. EUA. CO. (Maio).
- 2- PACIORNIK, S.; MAURÍCIO, M. H. P. Digital Imaging. Digital Imaging. In: VOORT, George Vander (Org.). ASM Handbook, Volume 9, Metallography and Microstructures. Materials Park, 2004, v. 9, p. 368-402.
- 3 - GOMES, O. F. M. **Processamento e Análise de Imagens Aplicados à Caracterização Automática de Materiais**. Rio de Janeiro, 2001. 151p. Dissertação de Mestrado, Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, PUC-Rio.