

AVALIAÇÃO DA MICROESTRUTA DE UMA JUNTA DISSIMILAR FORMADA POR AÇO CARBONO ASTM A36 x AÇO INOX AISI 316 L E COMPARAÇÃO COM A MICROESTRUTURA PREVISTA PELO DIAGRAMA DE *SCHAEFFLER*

Tiago Moitinho Alves Sousa Carvalho ¹

Manoel Carreira Neto ²

RESUMO

A necessidade dos diversos setores da indústria em produzir equipamentos, tubulações e estruturas soldadas em geral mais resistente aos esforços mecânicos e com características especiais tais como resistência à corrosão, resistência a altas temperaturas, aumento da dureza, ductibilidade, impulsionou o surgimento de novos materiais e conseqüentemente o desenvolvimento de novas técnicas de soldagem. A união conhecida como uma soldagem de junta dissimilar tem grande utilização em diversas áreas mas pode acarretar em problemas tendo em vista as características tão distintas de materiais envolvidos. Sendo assim se faz necessário conhecer a microestrutura da zona fundida resultante da soldagem desses materiais antes de realizar o processo. Existem algumas ferramentas que podem ser utilizadas para prever qual a microestrutura da região da solda antes de executá-la e uma delas é o Diagrama de *Schaeffler*. Sendo assim neste trabalho foi utilizado este diagrama para prever, antes da soldagem, a microestrutura de uma junta dissimilar composta por aço carbono ASTM A36 x aço inoxidável AISI A316L. Após essa etapa preliminar os corpos de prova foram soldados através do processo de eletrodo revestido, e submetidos a ensaios em laboratório (análise química, micrografia e medição do percentual de ferrita). Com os resultados obtidos foram traçados novos diagramas para compara-los com a previsão inicial e também confrontar os diagramas com o resultado da medição do percentual de ferrita encontrado na zona fundida. Ao final, apesar de existir uma pequena variação, no percentual de ferrita, entre o resultado obtido pelo diagrama e o medido em laboratório, pôde-se concluir que a ferramenta é eficiente.

Palavras chave: soldagem, junta dissimilar, microestrutura, Diagrama de *Schaeffler*

1. INTRODUÇÃO

Estima-se que a técnica de soldagem de materiais tem seu início há mais de 3 mil anos, mas a grande revolução desse processo deu-se com a descoberta do arco elétrico por volta de 1800 por Humphrey Davis e após isso as duas grandes guerras mundiais foram responsáveis pelo crescimento e desenvolvimento das técnicas de soldagem (SOUSA, 2017).

Segundo a AWS soldagem é o processo de união de materiais usado para obter coalescência, através do aquecimento até a temperatura adequada, com ou sem aplicação de pressão e com ou sem o uso de material de adição. Esse processo tem suas complicações, pois ao submeter dois materiais à ciclos térmicos de grande variação cria-

¹ Pós graduando em Engenharia de Soldagem pela Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC. moitinho@gmail.com

² Dr. em Engenharia Metalúrgica e de Materiais pela Escola Politécnica da USP – Professor Senai Cimatec. mcarreiraneto@gmail.com

se uma alteração na microestrutura do material que pode levar a um comprometimento da junta soldada. Na figura 01, mostrada abaixo, pode-se verificar o que o aporte do calor pode ocasionar na microestrutura do aço inoxidável AISI 316L. Através da imagem percebe-se um crescimento dos grãos e também a precipitação de carbonetos nos contornos de grão levando ao empobrecimento em cromo. Esse fenômeno origina uma corrosão do tipo intergranular.

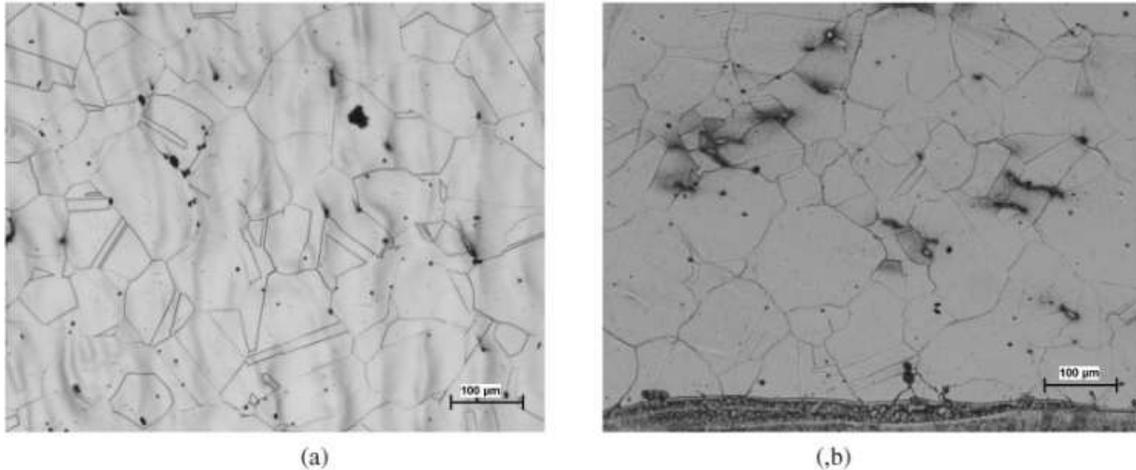


Figura 01 – Microestrutura do aço inoxidável AISI 316L antes (a) e após (b) a soldagem
Fonte: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-92242009000300006>, 2009

Quando a soldagem acontece entre dois materiais diferentes é chamado de soldagem dissimilar. Este o processo demanda cuidados especiais para garantir que a zona fundida e a zona termicamente afetada (ZTA) apresentem características físicas e químicas (tais como: ductilidade, tenacidade, resistência à fadiga) compatíveis com a solicitação a qual a estrutura estará sujeita. A figura 02 abaixo apresenta o que pode se esperar da soldagem de um aço carbono e um aço inox austenítico.



Figura 02 – Junta soldada entre aço carbono x aço inoxidável AISI 316L
Fonte: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM315/IIS%20%202017/Apostila%20Soldabilidade%20dissimilares%20Modenesi.pdf>, 2017

Apesar de todas as dificuldades, a soldagem de matérias dissimilares é muito frequente nas indústrias. Segundo Alves (2010), as juntas de união resultantes das combinações de materiais dissimilares são empregadas em diversas situações que requerem combinações especiais de propriedades físicas e químicas, reduções de custos, alta produtividade. Um exemplo do uso de soldagem dissimilar bastante empregado ocorre na instalação de juntas telescópicas em tubulações de aço carbono, de grande diâmetro, utilizadas nos trechos aéreos de sistemas adutores de água. Usualmente as juntas telescópicas apresentam uma parte formada por aço inox para conferir uma maior resistência a corrosão. As juntas dissimilares devem ser realizadas dentro dos mais altos padrões de qualidade, exigindo a escolha correta dos parâmetros de soldagem (processo, corrente, temperatura de pré e pós aquecimento, temperatura de interpasse, consumíveis de soldagem, percentual de diluição) e também o conhecimento da microestrutura da zona fundida que será formada após a soldagem desses materiais.

Para determinar essa microestrutura existem alguns diagramas empíricos, sendo os mais usuais o de *Schaeffler*, de *DeLong*, do *Welding Research Council* (WRC). Todos os exemplos citados baseiam-se no cálculo no teor de Ni (Níquel) e Cr (Cromo) equivalente presente na microestrutura do material, mas apresentam particularidades. O diagrama de *Schaeffler* tem como limitação o fato de não considerar o teor de N (nitrogênio) na equação do Ni (equivalente) sendo que o N tem a capacidade de estabilizar a austenita. Para corrigir esse “erro” surgiu o diagrama de *DeLong* que alterou a fórmula de cálculo do Ni equivalente acrescentando o N à fórmula. No entanto, *DeLong* também apresenta limitações uma vez que não considera o conteúdo da ferrita em metais de adição com alto teor de manganês e superestima o percentual desse constituinte nos metais de base que apresentam altos teores de elementos de liga. Apesar dessa correção, ambos têm em comum o fato de não poderem ser aplicados no caso de soldas tratadas termicamente nem na ZTA. Surgiu então o diagrama WRC- 1988 que além de corrigir os erros dos outros dois diagramas, ainda se aplica a uma faixa de composição mais ampla. Porém, apesar do diagrama WRC ser mais exato na estimativa do percentual de ferrita o diagrama de *Schaeffler* continua sendo mais usual (particularmente para aços sem nitrogênio), pois apresenta maior precisão ao estimar a martensita nos aços inoxidáveis de composição mais simples.

O objetivo deste trabalho é comparar o resultado de uma análise, feita em laboratório, da microestrutura da zona fundida de uma solda dissimilar realizada através do processo eletrodo revestido, entre um aço carbono ASTM A36 e um aço inoxidável A316L, com a microestrutura dessa mesma junta prevista pelo diagrama de *Schaeffler* para verificar a eficiência do diagrama. A escolha do diagrama de *Schaeffler* nesse trabalho deve-se ao fato da análise da microestrutura se concentrar apenas na zona fundida e também a junta soldada não ter sido submetida a tratamento térmico. Além do fato dos dois metais utilizados não possuírem o elemento N na sua composição química.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais e procedimento de soldagem

Para composição deste trabalho foram utilizados 3 corpos de prova (chapas de aço com as seguintes dimensões: 300x300x12,5 mm e compostas por aço carbono ASTM A36 e aço inox A316L), em três posições de soldagem diferentes: horizontal, vertical e sobrecabeça, conforme figuras 03 e 04 abaixo.

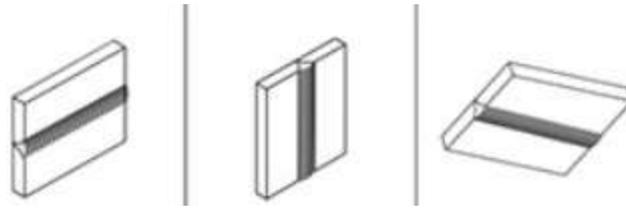


Figura 03 – Posições de soldagem: horizontal, vertical e sobrecabeça

Fonte: http://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/processo_soldagem_eletrodo_revestido_mma_smaw.cfm

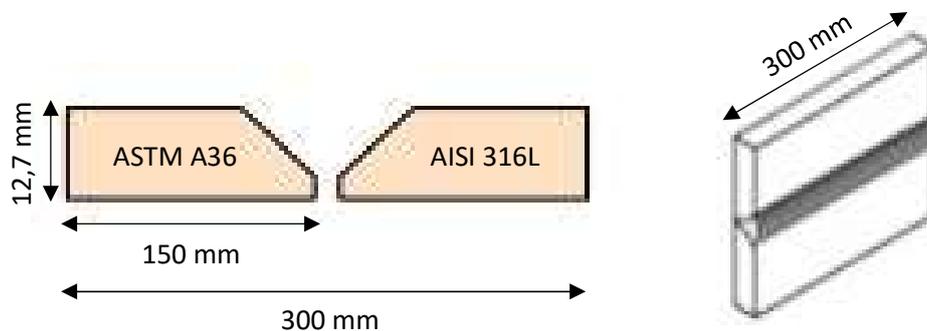


Figura 04 – Croquis da junta de topo chanfro em V

Fonte: Autoria própria, 2018

Essas chapas foram utilizadas na qualificação de um procedimento de soldagem para garantir a qualidade da solda entre as juntas telescópicas (lado inox) e tubulação aérea da adutora (lado aço carbono) do Projeto Adutor do Canal do Sertão Alagoano – Lote 4. Antes da soldagem dos corpos de prova, as chapas de teste foram submetidas a uma análise química para confirmação dos materiais. Após a confirmação dos materiais os corpos de prova foram soldados através do processo de eletrodo revestido (ER) utilizando o consumível E309L-17 com diâmetro de 3,25mm e seguindo os parâmetros estabelecidos na RQPS 002/2018. Dentre os parâmetros seguidos vale ressaltar que foi utilizado chanfro em V, a soldagem dos corpos de prova foi realizada utilizando o conceito de *backing* e também devido a espessura da chapa a solda foi realizada com a técnica de múltiplos passes (8 passes divididos em 6 camadas).

2.2 Metodologia

2.2.1 Diagrama de *Schaeffler*

O diagrama de *Schaeffler* é uma ferramenta que permite prever a microestrutura da zona fundida através da determinação do cromo e níquel equivalentes que são calculados através dos elementos químicos que compõem os materiais envolvidos na soldagem (metal de base e de adição). O diagrama é dividido em cinco áreas como mostrado abaixo na figura 05. Na região 1 (rosa) temos formação de microestrutura austenítica que favorece a fissuração a quente na ZF e na ZTA, na região 2 temos a fragilização devido a formação de fases intermetálicas, na área 3 (azul) a microestrutura caracteriza-se por

grãos grandes o que leva a fragilização em altas temperaturas já na região 4 (roxo) temos uma o problema de fragilização e fissuração devido a presença da martensita. A região do diagrama que indica uma microestrutura livre de problemas é a área 5 delimitada na figura pela cor amarelo.

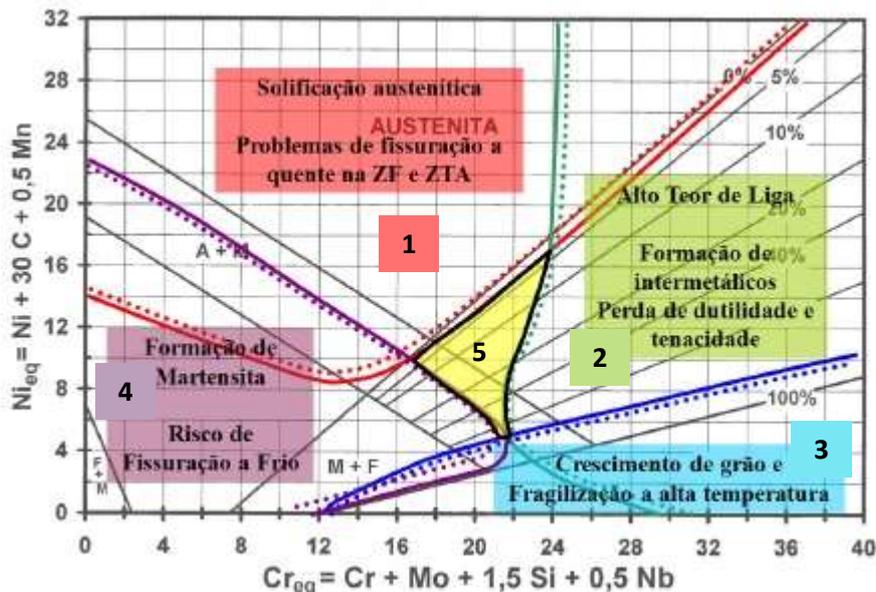


Figura 05 – Diagrama de *Schaeffler* e suas áreas

Fonte: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM315/IIS%20%202017/Apostila%20Soldabilidade%20dissimilares%20Modenesi.pdf>, 2017

Visando atender o objetivo deste trabalho foram utilizadas as chapas de teste citadas no item 2.1 para prever antes da soldagem, através do diagrama de *Schaeffler*, a microestrutura da zona fundida e compará-la com o resultado da microestrutura encontrada através do ensaio de micrografia e medição do percentual de ferrita feita em laboratório pós soldagem. Como foi dito anteriormente antes da soldagem foi realizado ensaio de análise química para comprovação dos materiais de base e a composição química do metal de adição foi retirada do certificado de qualidade do mesmo. De posse dos percentuais dos elementos químicos, pudemos determinar o Cr e Ni equivalentes necessários para traçar diagrama de *Schaeffler* através das equações abaixo

$$Cr_{eq} = \%Cr + \%Mo + 1,5 \times \%Si + 0,5 \times \%Nb \quad \text{Eq. 1}$$

$$Ni_{eq} = \%Ni + 30 \times \%C + 0,5 \times \%Mn \quad \text{Eq. 2}$$

Após a aplicação das fórmulas mostradas acima chegamos aos valores de Cromo e Níquel equivalentes encontrados no metal de base e do metal de adição conforme tabela abaixo.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%) - METAL DE BASE E ADIÇÃO									
MATERIAIS	CROMO EQUIVALENTE					NIQUEL EQUIVALENTE			
	Cr	Mo	Si	Nb	Cr _{equivalente}	Ni	C	Mn	Ni _{equivalente}
ASTM A 36	0,017	0,004	0,008	0,003	0,035	0,006	0,154	1,096	5,174
A 316 L	16,150	2,170	0,610	0,010	19,240	10,090	0,030	1,350	11,665
ELETRODO E309L	22,730	0,240	0,600	0,000	23,870	12,550	0,037	0,500	13,91

Tabela 01 –Cr e Ni equivalentes encontrados nos metais de base e no eletrodo
Fonte: Autoria própria, 2018

Dessa forma, utilizando os valores de Cr e Ni equivalente acima, chegou-se ao resultado de uma microestrutura formada por austenita com aproximadamente 8% de ferrita conforme mostrado na figura 06 abaixo. Para chegar-se a essa microestrutura além dos valores de Cr e Ni equivalentes, algumas premissas foram adotadas. Admitimos que ambos os metais de base participaram de forma igualitária na composição da zona fundida, por isso o ponto vermelho sobre a linha verde que liga os dois metais de base. Além disso o percentual de diluição foi fixado em 20%, pois o eletrodo utilizado na soldagem apresenta um revestimento rútilico e trata-se de uma soldagem multipasse, dessa forma na figura acima o ponto que determina a microestrutura encontrada (ponto roxo) está posicionado mais próximo do ponto que simboliza o eletrodo, indicado pela coloração amarela.

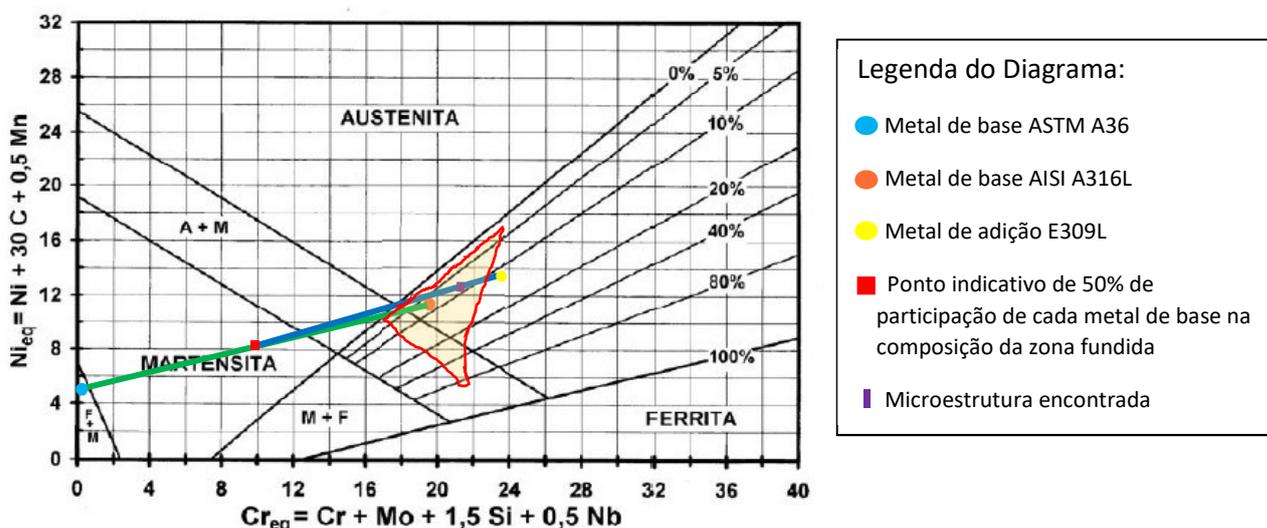


Figura 06 – Previsão da microestrutura da zona fundida através do diagrama de Schaeffler

Fonte: Autoria própria, 2018

2.2.2 Ensaios de laboratório

Finalizada a soldagem, os corpos de prova foram levados para JC Laboratórios Ltda, para serem ensaiados. Foram realizados ensaios de análise química da zona fundida, e determinação do percentual de ferrita através da micrografia, utilizando a metodologia ASTM E562, afim de confrontar os valores encontrados com o previsto pelo diagrama de Schaeffler. Por se tratar de uma solda multipasse, optou-se por fazer a medição dos percentuais de ferrita em três regiões da solda: raiz, meio e face.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a realização dos ensaios de análise química na zona fundida dos corpos de prova soldados, os resultados obtidos foram os seguintes:

- CORPO DE PROVA 01 (corpo de prova soldado na posição horizontal):

2.2 - ANÁLISE QUÍMICA (SOLDA) - De acordo com a Instrução Técnica JCLAB : IT – 001 a 003 Rev 0.

Carbono (%C)	Manganês (%Mn)	Cromo (%Cr)	Silício (%Si)	Molibdênio (%Mo)	Níquel (%Ni)	Cobre (%Cu)	Ferro (%Fe)	Niobio (%Nb)
0,05	0,83	21,61	0,53	0,34	11,13	0,10	62,75	0,01

Metodologia: ASTM E30, E350 a E354 (Via úmida e combustão)

Data dos ensaios: 03/11/2017

Figura 07 – Resultado da análise química do CP 01
Fonte: Relatório de ensaios 997/18 JC Laboratórios, 2018

- CORPO DE PROVA 02 (corpo de prova soldado na posição vertical ascendente):

2.2 - ANÁLISE QUÍMICA (SOLDA) - De acordo com a Instrução Técnica JCLAB : IT – 001 a 003 Rev 0.

Carbono (%C)	Manganês (%Mn)	Cromo (%Cr)	Silício (%Si)	Molibdênio (%Mo)	Níquel (%Ni)	Cobre (%Cu)	Ferro (%Fe)	Niobio (%Nb)
0,05	0,80	21,25	0,53	0,34	10,73	0,10	63,17	0,01

Metodologia: ASTM E30, E350 a E354 (Via úmida e combustão)

Data dos ensaios: 03/11/2017

Figura 08 – Resultado da análise química do CP 02
Fonte: Relatório de ensaios 998/18 JC Laboratórios, 2018

- CORPO DE PROVA 03 (corpo de prova soldado na posição sobrecabeça):

2.2 - ANÁLISE QUÍMICA (SOLDA) - De acordo com a Instrução Técnica JCLAB : IT – 001 a 003 Rev 0.

Carbono (%C)	Manganês (%Mn)	Cromo (%Cr)	Silício (%Si)	Molibdênio (%Mo)	Níquel (%Ni)	Cobre (%Cu)	Ferro (%Fe)	Niobio (%Nb)
0,05	0,84	20,08	0,54	0,41	10,41	0,08	64,95	0,01

Metodologia: ASTM E30, E350 a E354 (Via úmida e combustão)

Data dos ensaios: 03/11/2017

Figura 09 – Resultado da análise química do CP 03
Fonte: Relatório de ensaios 999/18 JC Laboratórios, 2018

De acordo os dados da análise química supracitada e utilizando as equações 1 e 2 apresentadas anteriormente no item 2.2.1, chegou-se aos valores de cromo e níquel equivalente na zona fundida, conforme tabela abaixo:

MATERIAIS	COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS ZONAS FUNDIDAS NOS CORPOS DE PROVA (%)								
	CROMO EQUIVALENTE					NÍQUEL EQUIVALENTE			
	Cr	Mo	Si	Nb	Cr EQUIVALENTE	Ni	C	Mn	Ni EQUIVALENTE
ZF ENCONTRADA - POS 2G	21,610	0,340	0,530	0,010	22,750	11,130	0,050	0,830	13,045
ZF ENCONTRADA - POS 3G	21,250	0,340	0,530	0,010	22,390	10,730	0,050	0,800	12,63
ZF ENCONTRADA - POS 4G	20,080	0,410	0,540	0,010	21,305	10,410	0,050	0,840	12,33

Tabela 02 – Cromo e Níquel equivalente na zona fundida dos corpos de prova soldados
Fonte: Autoria própria, 2018

Fazendo uso desses dados o diagrama para os três corpos de prova, foi traçado, e comparado com o resultado da microestrutura prevista antes da soldagem.

DIAGRAMA DE SCHAEFFLER

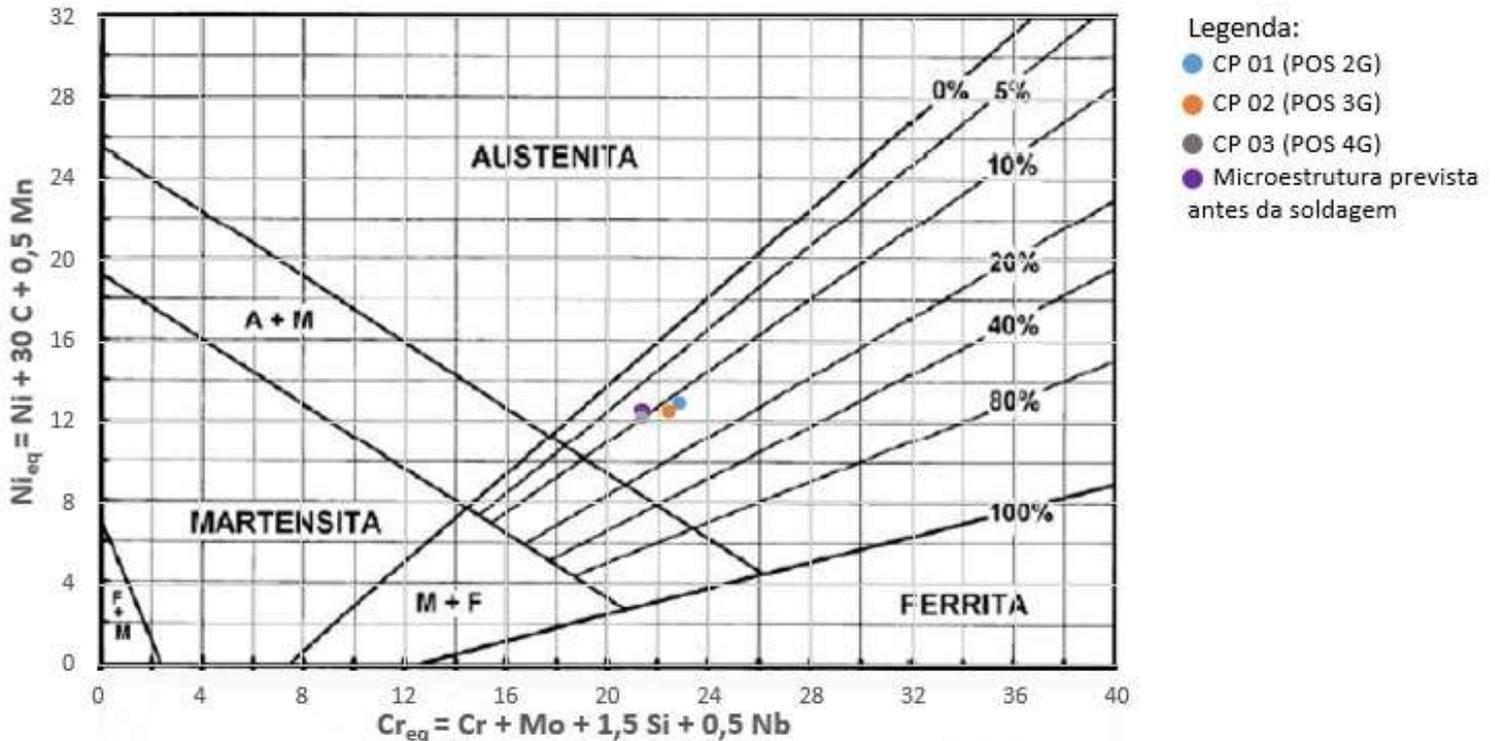
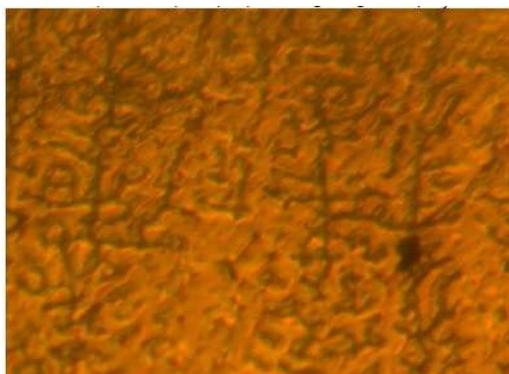


Figura 10 – Diagrama de *Schaeffler* (zona fundida dos corpos de prova)
 Fonte: Autoria própria, 2018

Através do diagrama acima pôde-se verificar que a microestrutura da zona fundida nos três corpos de prova é uma austenita com um percentual de ferrita que varia em torno de 10% a 12%, ficando bem próximo do resultado previsto antes da soldagem. Já nos resultados obtidos através da micrografia da zona fundida, apesar dos três corpos de prova apresentarem uma microestrutura formada por austenita, os valores de ferrita encontrados, tem percentuais abaixo dos apresentados pelo diagrama de *Schaeffler*.



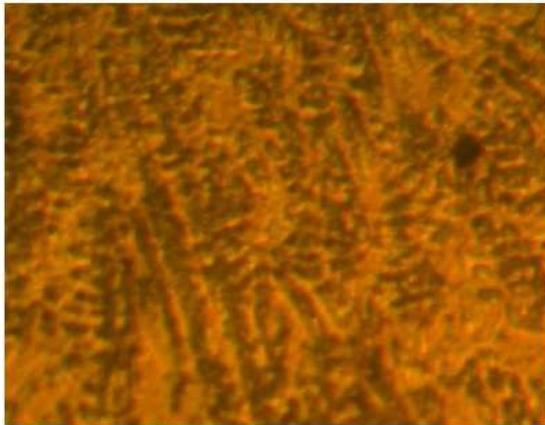
2.3- PERCENTUAL DE FERRITA (MICROGRAFIA)- De acordo com ASTM E562
 Metodologia: ASTM E562 Data dos ensaios: 10 a 15/11/2017

2.3.1 – RESULTADOS

Local da solda	% de ferrita
Face	3,58
Meio	7,82
Raiz	2,82
Média	4,74

CP 01 - SOLDA REALIZADA NA POSIÇÃO HORIZONTAL

Figura 07 – Micrografia e percentual de ferrita na zona fundida do CP 01
 Fonte: Relatório de ensaios 997/18 JC Laboratórios, 2018



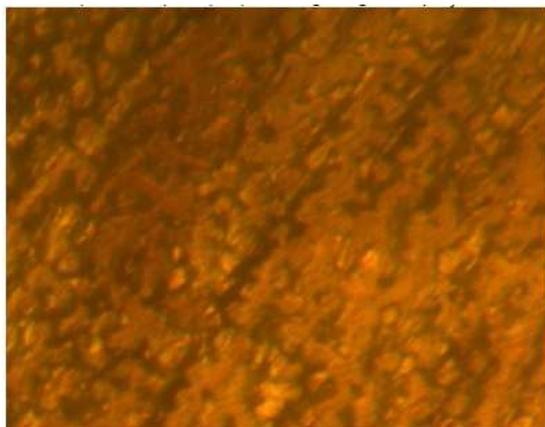
2.3- PERCENTUAL DE FERRITA (MICROGRAFIA)- De acordo com ASTM E562
 Metodologia: ASTM E562 Data dos ensaios: 10 a 15/11/2017

2.3.1 – RESULTADOS

Local da solda	% de ferrita
Face	3,41
Meio	2,37
Raiz	4,66
Média	3,48

CP 02 - SOLDA REALIZADA NA POSIÇÃO VERTICAL ASCENDENTE

Figura 08 – Micrografia e percentual de ferrita na zona fundida do CP 02
 Fonte: Relatório de ensaios 998/18 JC Laboratórios, 2018



2.3- PERCENTUAL DE FERRITA (MICROGRAFIA)- De acordo com ASTM E562
 Metodologia: ASTM E562 Data dos ensaios: 10 a 15/11/2017

2.3.1 – RESULTADOS

Local da solda	% de ferrita
Face	2,95
Meio	3,86
Raiz	6,44
Média	4,41

CP 03 - SOLDA REALIZADA NA POSIÇÃO SOBRECABEÇA

Figura 09 – Micrografia e percentual de ferrita na zona fundida do CP 03
 Fonte: Relatório de ensaios 999/18 JC Laboratórios, 2018

Os resultados mostrados acima mostram que na média tem-se um percentual de ferrita variando aproximadamente entre 3,5% e 4,7%. Nos corpos de prova soldados nas posições vertical e sobrecabeça obteve-se os maiores percentuais de ferrita na região da raiz da solda, já no CP soldado na posição horizontal o maior percentual foi encontrado no meio da zona fundida. Essas variações podem ser explicadas pela posição de soldagem, a utilização da solda multipasse e também pelo processo de soldagem utilizado visto que alterações em determinados parâmetros tais como: variação de tensão e corrente, distância entre o eletrodo e a poça de fusão e oscilação, interferem na formação da poça de fusão, na taxa de diluição e conseqüentemente na formação da zona fundida.

4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, pôde-se concluir que o diagrama de *Schaeffler* se mostrou eficiente e prático para a situação proposta, podendo ser usado como análise inicial na

previsão de uma microestrutura antes da soldagem. No entanto, variações no processo de soldagem tais como: tensão, corrente, processo e posição de soldagem, taxa de diluição entre outros, podem gerar variações entre o resultado previsto e o obtido em laboratório. A taxa de diluição precisa ser melhor definida, pois no momento que se altera a posição de soldagem esse valor sofre alterações, a utilização de *softwares* de tratamento de imagem pode proporcionar um valor mais exato. Além disso o fato da solda ser multipasse torna o processo de previsão através do diagrama dificultado uma vez que o metal de base inicial é diferente do metal de base encontrado no meio da solda interferindo assim também na taxa de diluição. Dessa forma uma análise da micrografia, com a medição do percentual de ferrita, fazendo uso das ferramentas computacionais disponíveis hoje no mercado é capaz de apresentar um resultado mais confiável e possibilita maior embasamento para tomada de decisões em serviços mais críticos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIRRE, H. V. M.; SODRÉ, R. M. R. **Estudo microestrutural em soldas dissimilares com o aço inoxidável austenítico 316l em um aço ABNT 1020.** In: 21º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Cuiabá, 2014.

ALVES, Eder. **Junções de materiais dissimilares utilizando o processo de soldagem por fricção rotativa.** BRASIL, 2010. Disponível em < <http://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/03.05.23.42/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 06 de dez. 2017.

BRACARENSE, Alexandre Q.; CHILQUE, Angel R. A; LIMA, Mônica M. de A. **Caracterização microestrutural de soldas dissimilares dos aços ASTM A-508 e AISI 316L.** Revista Soldagem Insp, São Paulo, v. 15, n. 2, p 112-120, 2010.

CAMPOS, Wagner R. da C; GOMES, Filipe J. de O., GONÇALVES, Tiago N.; SOARES, Bruno A. **Caracterização microestrutural de solda dissimilar – aço inoxidável austenítico AISI 304 com adição de liga de níquel inconel 625.** Tecnol. Metal Mater. Miner., São Paulo, v. 6, n 1, p 19-23, 2009.

CAMPOS, W.; QUINAN, M.; MENDONÇA, M. **Avaliação da suscetibilidade à corrosão sob tensão da ZAC do aço inoxidável AISI 316L em ambiente de reator nuclear PWR.** Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-92242009000300006>. Acesso em 09 dez. 2018.

ESAB. **Processo de soldagem: Eletrodo revestido (MMA/SMAW).** Disponível em: http://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/processo_soldagem_eletrodo_revestido_mma_smaw.cfm. Acesso em 09 dez. 2018.

GRUBERT, Ricardo de B. **Análise de falha e de proposta para procedimento de fabricação e reparo de defletor de vaso de pressão confeccionado em aço inoxidável duplex.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Departamento de Engenharia Mecânica. Porto Alegre, 2010.

SOUSA, Douglas José. **Estudo da união de materiais similares e dissimilares utilizando o processo de soldagem por fricção (FW)**. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2017.

MODENESE, Paulo J. **Apostila soldabilidade de dissimilares**. Universidade Federal de Minas Gerais – Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Minas Gerais, 2017. Disponível em: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM315/IIS%20%202017/Apostila%20Soldabilidade%20dissimilares%20Modenesi.pdf,%202017>. Acesso em 05 dez. 2018

MODENESE, Paulo J. **Soldabilidade de Algumas Ligas Metálicas**. Universidade Federal de Minas Gerais – Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Minas Gerais, 2011.

THE SCHAEFFLER AND DELONG DIAGRAMS FOR PREDICTING FERRITE LEVELS IN AUSTENITIC STAINLESS STEEL WELDS. British Stainless Steel Association. Disponível em: <https://www.bssa.org.uk/topics.php?article=121>. Acesso em: 17 jul. 2018.