V SITEFA
Simpósio de Tecnologia da Fatec Sertãozinho

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS EFEITOS DOS GASES ARGÔNIO E ARCAL 11 NA SOLDAGEM PELO PROCESSO GTAW (GAS TUNGSTEN ARC WELDING) EM AÇO INOXIDÁVEL AISI 316L

COMPARATIVE STUDY BETWEEN THE EFFECTS ARGON AND ARCAL 11 GASES IN WELDING USING THE GTAW (GAS TUNGSTEN ARC WELDING) PROCESS ON AISI 316L STAINLESS STEEL

Clóvis Catananti Júnior [I]
Alessandro Fraga Farah [II]
Solange Pereira dos Santos Farah [III]

Área: A4. Gestão de Sistemas Mecânicos e Industriais (GESMI)
Subárea: S4: Processos de Fabricação

RESUMO

A aplicação do gás inerte como proteção da poça de fusão em processos de soldagem *Tungsten Inert Gas* (TIG) torna o processo de soldagem a arco elétrico entre um eletrodo não consumível de tungstênio e a peça de fusão com proteção gasosa, isento de oxidação. A proposta de estudar a comparação da utilização dos gases de proteção Argônio e ARCAL 11, tem como objetivo apresentar uma solda com resistência mecânica, qualidade e confiabilidade de processo. Na soldagem do aço inoxidável AISI 316L, foi analisado por meios de ensaios mecânicos de tração e microdureza, além de análise metalográfica, qual gás apresenta melhor resultado para esta finalidade. As amostras soldadas e ensaiadas neste trabalho, tem os perfis na forma de tubos e barras. Os resultados obtidos apresentaram valores de resistência a tração inferior ao material de base para ambos os perfis, com uma ligeira melhora na utilização do gás ARCAL 11 no perfil de barra. As durezas no metal de solda ficaram abaixo do metal de base, corroborando com os resultados de resistência a tração. As microestruturas do metal de solda não apresentaram diferenças nos diferentes processos.

Palavras-chave: Argônio. ARCAL 11. Soldagem Tig. Inox.

ABSTRACT

The application the inert gas as fusion puddle protection in Tungsten Inert Gas (TIG) welding processes becomes the electric arc welding process between a non-consumable tungsten electrode and the fusion piece with gas protection, free of oxidation. The proposal to study the comparison of the use of the shielding gases Argon and ARCAL 11, aims to present a weld with mechanical strength, quality, and process reliability. In the welding of the stainless steel AISI 316L, it was analyzed by means of mechanical tensile and microhardness tests, in addition

[I] Aluno do Curso de Tecnologia Mecânica: Processos de Soldagem da Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo de Sertãozinho (Fatec-Stz) – São Paulo – Brasil. E-mail: clovis.catananti@fatec.sp.gov.br
[II] Prof. Dr. da Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo de Sertãozinho (Fatec-Stz) – São Paulo – Brasil. E-mail: alessandro.farah@fatec.sp.gov.br
[III] Profa. Mestre da Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo de Sertãozinho (Fatec-Stz) – São Paulo – Brasil. E-mail: solangepfarah@gmail.com



to metallographic analysis, which gas presents the best result for this purpose. The samples welded and tested in this work, have the profiles in the form of tubes and bars. The results obtained showed lower tensile strength values than the base material for both profiles, with a slight improvement in the use of ARCAL 11 gas in the bar profile. The hardness in the weld metal was below the base metal, corroborating the tensile strength results. The microstructures of the weld metal did not differ in the different processes.

Keywords: Argon. ARCAL 11. GTAW Process. Stainless Steel.

Data de submissão do artigo: 01/08/2022.
Data de aprovação do artigo: 28/09/2022.
DOI: **10.33635/sitefa.v5i1.231**

1 INTRODUÇÃO

O processo *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) é usado em vários metais e o processo pode ser manual ou automático. É largamente utilizado para solda de ligas de aço inoxidável, onde a integridade da solda é de extrema importância. É também utilizado para juntas de alta qualidade em indústrias nucleares, químicas, aeronáuticas e de alimentos (MORAES, 2020). Segundo Brito (2002), esse processo consiste no uso de um arco elétrico, numa atmosfera de gás inerte, com a adição de material de enchimento (varetas comerciais), que produz uma solda limpa e de alta qualidade, sem a geração de escória e inclusão no metal de solda.

O processo utiliza um eletrodo sólido de tungstênio não consumível, onde o eletrodo, o arco e a região em volta da poça de fusão da solda são protegidos por uma atmosfera protetora de gás inerte que tem algumas funções básicas: provocar uma boa ionização quando o gás se torna condutor de corrente elétrica, proteger o tungstênio e a poça de fusão do meio ambiente evitando sua oxidação durante a soldagem (ALUSOLDA, 2021).

O conhecimento da função de cada gás e como poderá influenciar sobre o processo de soldagem que está sendo aplicado poderá beneficiar muito o desempenho da produção. O gás de proteção tem um efeito significativo sobre vários parâmetros do cordão de solda como, na velocidade de soldagem, no perfil de penetração e no aspecto do cordão. Além de influenciar no aporte térmico e quantidade de respingos (GIMENES e CHIEPPE, 2016). Os gases de proteção fornecem uma vantagem competitiva na redução dos custos de fabricação, por meio do aumento da produção reduzindo taxas de rejeição e melhoria da qualidade da solda.

Esse trabalho avaliou a diferença do uso dos gases Argônio puro (99,999%) e o Arcal 11 (20% hélio, 5% hidrogênio e 75% argônio) na soldagem do aço inoxidável AISI 316L utilizando o processo *Tungsten Inert Gas* (TIG), demonstrando por meio dos ensaios de tração, metalografia e dureza dos corpos de provas utilizados no estudo, a qualidade final da solda.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

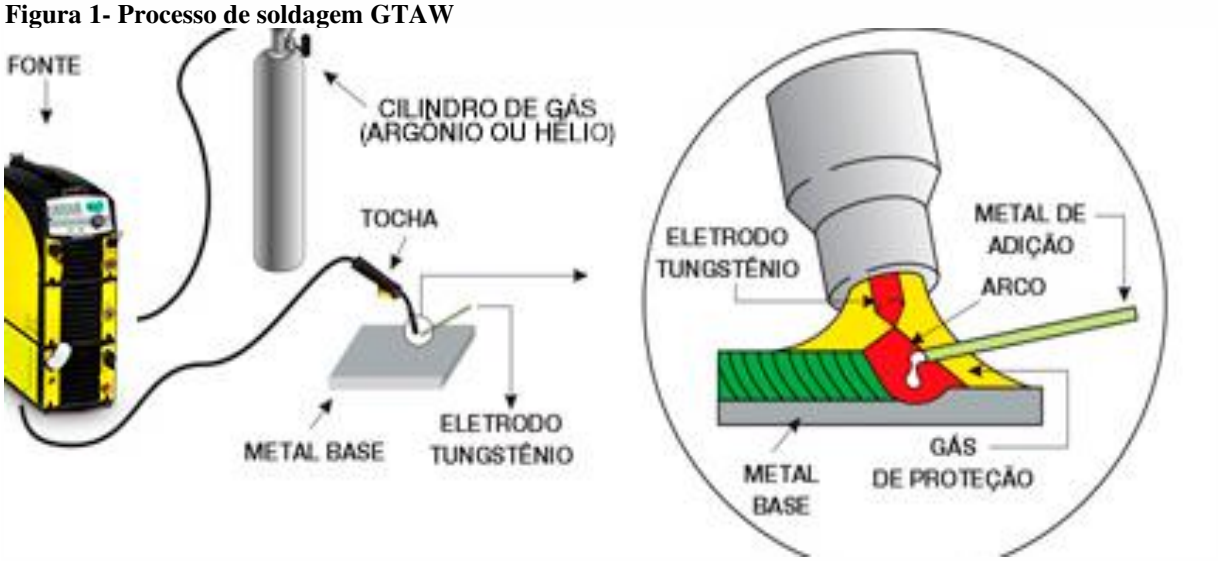
Neste capítulo faremos uma abordagem sobre o processo de soldagem GTAW, material de base AISI 316L, consumível de solda e as características dos gases Argônio e ARCAL 11.

2.1 Processo de Soldagem GTAW (*GAS TUNGSTEN ARC WELDING*)

Segundo Bracarense (2000), o processo de soldagem GTAW caracteriza-se por um arco elétrico criado entre um eletrodo sólido de tungstênio não consumível e o material a ser soldado, protegidos do ar atmosférico por um gás inerte. Os tipos de gases mais indicados para o processo são argônio (Ar), hélio (He) ou misturas entre esses dois gases. O processo é indicado tecnicamente pela sigla GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) ou TIG (*Tungsten Inert Gas*).

O conceito da solda GTAW foi criado advindo da necessidade de soldagens eficientes para materiais difíceis, como o alumínio e magnésio, principalmente na indústria aeroespacial, de aviação e atualmente é amplamente utilizado em ligas de aço inoxidável onde a integridade da solda é exigida ao extremo para juntas de alta qualidade em indústrias nucleares, químicas e de alimentos (ALUMAQ, 2018). A Figura 1 ilustra o processo GTAW.

Figura 1- Processo de soldagem GTAW



Fonte: ESAB (2021, p.1)

2.2 Aço Inoxidável AISI 316L

Os aços inoxidáveis austeníticos são ligas metálicas que contêm em sua formulação, principalmente, altos teores de ferro (Fe), cromo (Cr) e níquel (Ni), além de pequenos teores de carbono (C); sua microestrutura apresenta a fase austenita (γ), em que os átomos se organizam em reticulados cúbicos de face centrada (CFC) (MORAES, 2020).

Segundo Serafini (2016), esses aços possuem boa ductilidade e boa tenacidade, mas não possuem elevada resistência mecânica e as propriedades que mais atraem no material são a resistência à corrosão e à oxidação, sobretudo a elevadas temperaturas. As propriedades mecânicas do AISI 316L são dependentes dos processos de fabricação.

A Tabela 1 apresenta a composição química do aço inoxidável austenítico AISI 316L.

Tabela 1- Composição química do aço inoxidável austenítico AISI 316L

Elemento	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Fe
(%)	0,03 máx.	1,00 máx.	2,00 máx.	16,0 – 18,0	10,0 – 14,0	2,0 – 3,0	Bal.

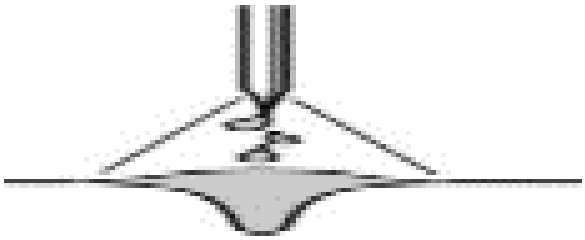
Fonte: Davis (1994)

2.3 Gás Argônio (Ar)

É um gás monoatômico comumente utilizado para o processo de soldagem GTAW empregado em todos os materiais base, é quimicamente inerte, tornando-o adequado para a soldagem em metais reativos ou refratários (ABS, 2006).

Este gás tem uma condutividade térmica e potencial de ionização baixo, essas propriedades resultam em uma baixa transferência de calor para as zonas externas do arco, isso forma uma coluna estreita no arco elétrico proporcionando dessa forma um perfil de penetração profundo e relativamente estreito. A Figura 2 ilustra o fenômeno.

Figura 2 - Penetração da solda com proteção de gás Ar



Fonte: Sumig (2021, p. 9)

2.4 Gás ARCAL 11 (Ar + He + H)

Os gases ARCAL são utilizados nos processos de solda a arco, proteção de raiz, corte a plasma, solda TIG e solda MIG/MAG. Com baixos níveis de oxidação e de respingos e menores taxas de defeitos, oferecem maior produtividade e mais eficiência.

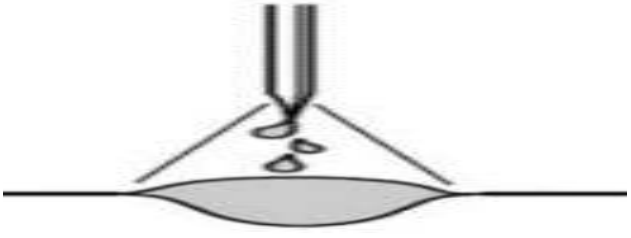
Os produtos ARCAL são puros e estáveis em conformidade com os padrões ISO 14175 e AWS-A5.32 para aplicação como um gás de proteção de melhor qualidade para a proteção da poça de fusão que proporciona um desempenho extremamente confiável, sem que haja a necessidade de se utilizar outros componentes ou energia elétrica (AIR LIQUIDE, 2020).

Como característica de produtividade podemos citar: altas velocidades de soldagem; excelentes perfis de penetração; níveis de respingos extremamente baixos; excelente aspecto da poça de fusão; resultados de excelente qualidade; controle do nível de impurezas; mistura consistente e homogênea.

Este gás apresenta níveis de umidade e de oxigênio extremamente baixos, principalmente nos processos de soldagem a plasma e TIG (AIR LIQUIDE, 2020).

A Figura 3 ilustra a penetração da solda com ARCAL 11.

Figura 3 - Penetração da solda com proteção de gás Ar + He+ H



Fonte: Sumig (2021, p. 9)

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Este trabalho propõe uma metodologia investigativa e comparativa do processo TIG com dois tipos de misturas gasosas distintas como proteção gasosa, ARCAL 11 e Argônio. Essa seção apresenta os materiais e os procedimentos experimentais utilizados durante a pesquisa.

3.1 Materiais e Métodos

Os materiais e metodologia utilizados são apresentados nas subseções a seguir. Com o desenvolvimento da pesquisa, os ensaios foram realizados de forma a avaliar e analisar as características e o comportamento das juntas soldadas.

3.1.1 Metal de base

As barras de aço inoxidável AISI A 316L utilizadas no estudo foram fornecidas com diâmetro 12,5 mm na região a ser soldada, comprimento de 200 mm total com extremidades de diâmetro 20 mm, conforme norma ASTM E8/E8M.

Os tubos de aço inoxidável têm as dimensões de 200mm de comprimento, diâmetro de 26mm e 2,5mm de espessura.

3.1.2 Gases de proteção

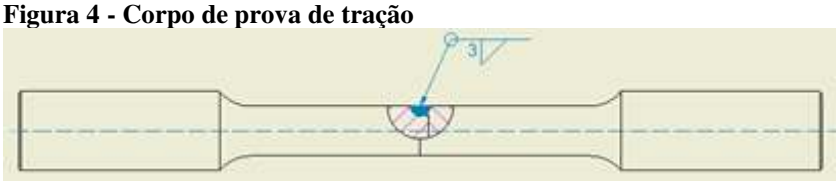
Os gases são fornecidos com certificados pelo fornecedor Air Liquide Brasil nas nomenclaturas comerciais, usuais aos consumidores finais dos produtos em análise, sendo eles 100% Ar e ARCAL 11 (20% He, 5% H e 75% Ar).

Os gases de proteção inertes escolhidos para o estudo são de grande aplicação no mercado industrial especialmente com o processo GTAW, o que reforça a importância do estudo em questão. Além disso, por não ter metal de adição participando do arco, conserva os elementos de liga do material, levando-se essa pureza para a formação final do metal ligado.

3.1.3 Soldagem

Foram preparados seis corpos de prova, sendo três aplicados o gás argônio e três para o gás ARCAL 11, para soldagem dos tubos e seis corpos de prova para a soldagem das barras, no processo GTAW, cujo preenchimento e acabamento dos corpos de prova se deu na forma de fusão das partes. A Figura 4 representa o corpo de prova ensaiado.

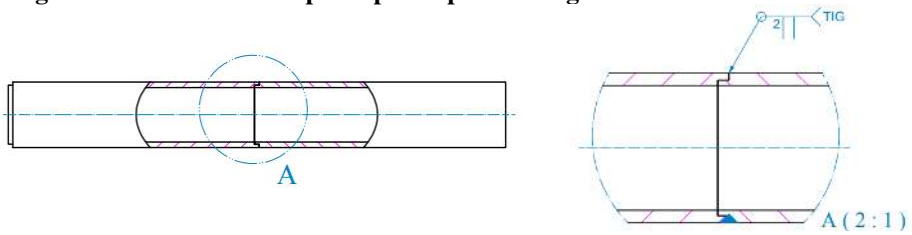
Figura 4 - Corpo de prova de tração



Fonte: Autores (2021)

A união foi feita em uma junta de topo tipo “paralelo”, com abertura de raiz de 2mm, sem pré-aquecimento, conforme a norma ASME II-17 - Part A, ilustrada na Figura 5.

Figura 5 - Desenho do corpo de prova para soldagem



Fonte: Autores (2021)

A distância do bico de contato a peça (DBCP) foi igual a 1,5 mm, ângulo da tocha de 90º em relação à face da solda.

Os parâmetros utilizados para a soldagem utilizados dos corpos de prova (tubos e barras) estão na Tabela 2.

Tabela 2- Parâmetros de soldagem utilizados no processo GTAW

Variáveis	Tensão (V)	Corrente (A)	Polaridade (CC ±)	Vazão (l/min)	Veloc. de Avanço (m/min)	Veloc. de Soldagem (cm/min)
Parâmetros	23-24	100	CC+	14-15	56-57	15-16

Fonte: Autores (2021)

3.1.4 Ensaio de tração

Foram realizados ensaios de tração, segundo as normas ASTM A370-19 e ASTM E8M-16, em seis corpos de prova feitos a partir de barra circular e seis de tubos, nas direções longitudinal em relação a solda. Três para cada condição.

3.1.5 Ensaio de metalografia

Os corpos de prova após o ensaio de tração, as amostras foram preparadas par o ensaio metalográfico, conforme norma ASTM E3-11.

3.1.6 Ensaio de Microdureza

As microdurezas foram feitas nos corpos de prova após a metalografia. Foram realizadas conforme norma ASTM E384-16. As microdurezas *Vickers* foram feitas com carga de 9,8N.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos ensaios são apresentados a seguir.

4.1 Ensaio de tração

Os corpos de prova de aço inoxidável AISI 316L de perfil barra, com proteção gasosa de argônio, obtiveram os seguintes resultados conforme Tabela 3. Os valores de tensão foram calculados pelo software do equipamento utilizando o diâmetro inicial do corpo de prova.

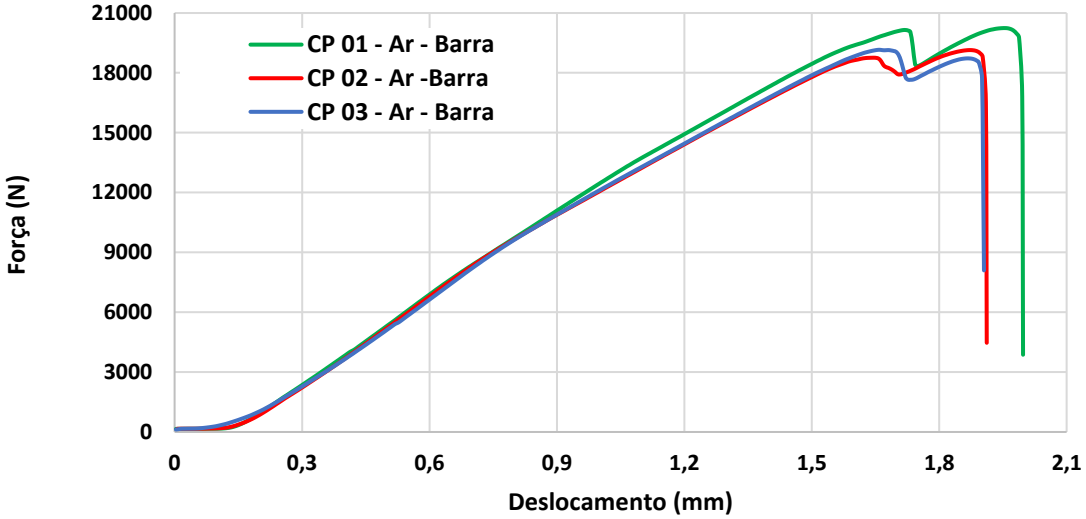
Tabela 3- Resultado do ensaio mecânico de tração, com gás Argônio no perfil barra

Identificação das amostras (Ar - Barra)	σ_r (MPa)	Lim. Escoamento. (MPa)
Média	159,00	95,58
DP (desvio padrão)	4,0	7,0

Fonte: Autores (2021)

O Gráfico 1 representa as curvas do ensaio mecânico de tração com gás argônio no perfil de barra. As curvas foram dadas em termos de Força (N) por Deslocamento (mm).

Gráfico 1 - Resultado do ensaio mecânico de tração, gás argônio no perfil barra



Fonte: Autores (2021)

Os resultados apresentam uma relativa uniformidade de valores ao longo da junta soldada, porém muito abaixo comparado ao do metal base. Um fator a considerar é a área de solda proporcionada pela fusão do material assim como os parâmetros empregados (ESAB, 2005). Outro fator está relacionado ao gás, que tem como característica proporcionar baixa penetração da solda no material de base (BRACARENSE, 2000).

Os corpos de prova com proteção gasosa por ARCAL 11 na forma de barra, apresentaram os seguintes resultados conforme Tabela 4 e Gráfico 2.

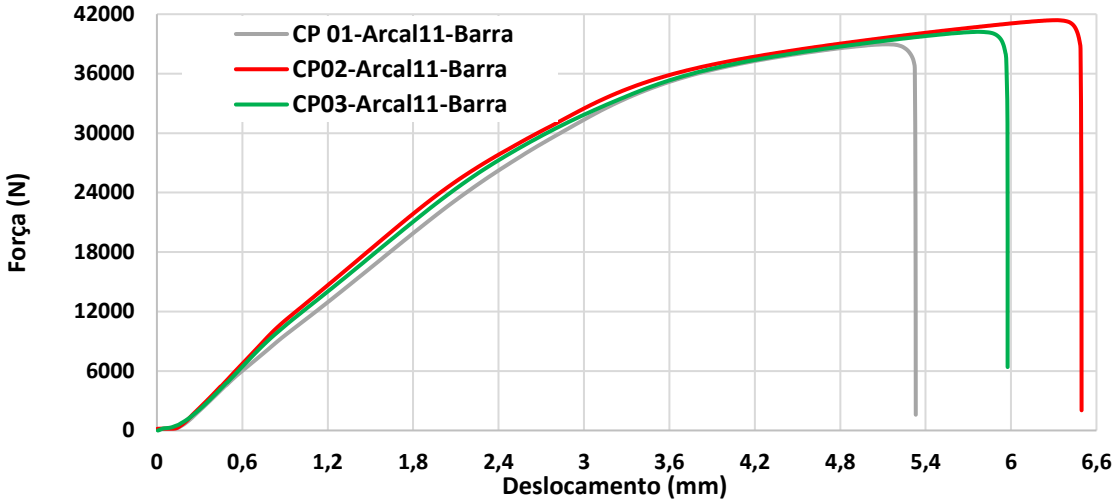
Tabela 4- Resultado do ensaio mecânico de tração, gás ARCAL 11 no perfil barra

Identificação das amostras (ARCAL 11 - Barra)	σ_r (MPa)	Lim. Escoamento (MPa)
Média	327,52	185,88
DP (desvio padrão)	8,0	1,8

Fonte: Autores (2021)

O Gráfico 2 representa as curvas do ensaio mecânico de tração com gás ARCAL 11 no perfil de barra.

Gráfico 2 - Resultado do ensaio mecânico de tração, gás ARCAL 11 no perfil barra



Fonte: Autores (2021)

Os CPs com o gás ARCAL11 apresentaram maior resistência, provavelmente devido a influência do He e H_2, em proporcionar uma maior penetração da solda.

Os corpos de prova com proteção gasosa por argônio na forma de tubo, apresentaram os seguintes resultados conforme Tabela 5 e Gráfico 3.

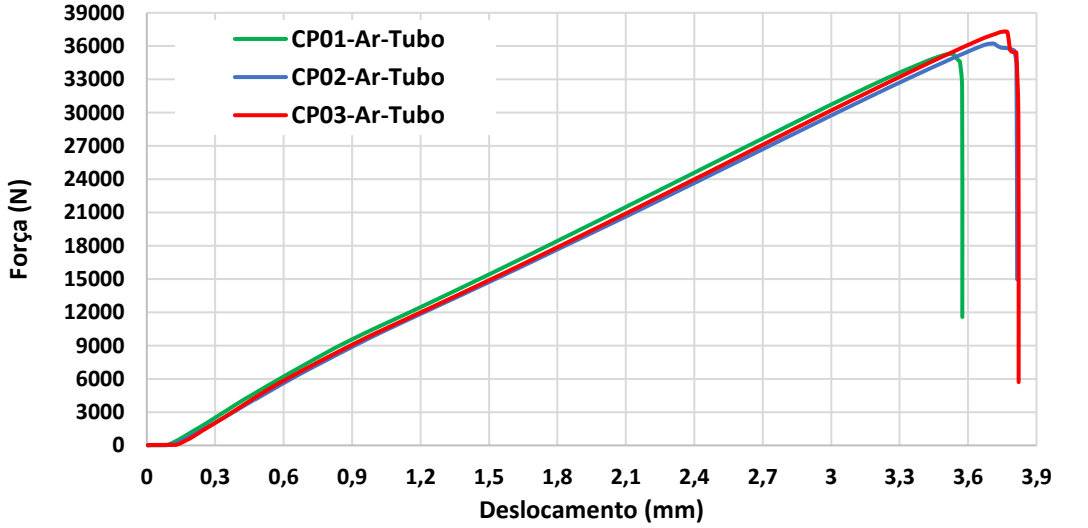
Tabela 5 - Resultado do ensaio mecânico de tração, gás argônio no perfil tubo

Identificação das amostras (Ar - Tubo)	σr (MPa)	Lim. Escoamento (MPa)
Média	209,53	208,50
DP (desvio padrão)	4,0	4.5

Fonte: Autores (2021)

O Gráfico 3 representa as curvas do ensaio mecânico de tração com gás argônio no perfil de tubo.

Gráfico 3 - Resultado do ensaio mecânico de tração, gás argônio no perfil tubo



Fonte: Autores (2021)

Os resultados de resistência mecânica obtidos no perfil do tubo foram melhores que no perfil da barra, porém ambos bem abaixo se comparado com o valor do metal de base. O desvio padrão indica uma homogeneidade de propriedade ao longo da junta soldada, sem a participação do gás. O efeito área pode estar relacionado com os valores obtidos e a baixa penetração do material de adição (BRACARENSE, 2000).

Os corpos de prova com proteção gasosa por ARCAL 11 na forma tubular, apresentaram os seguintes resultados conforme Tabela 6 e Gráfico 4.

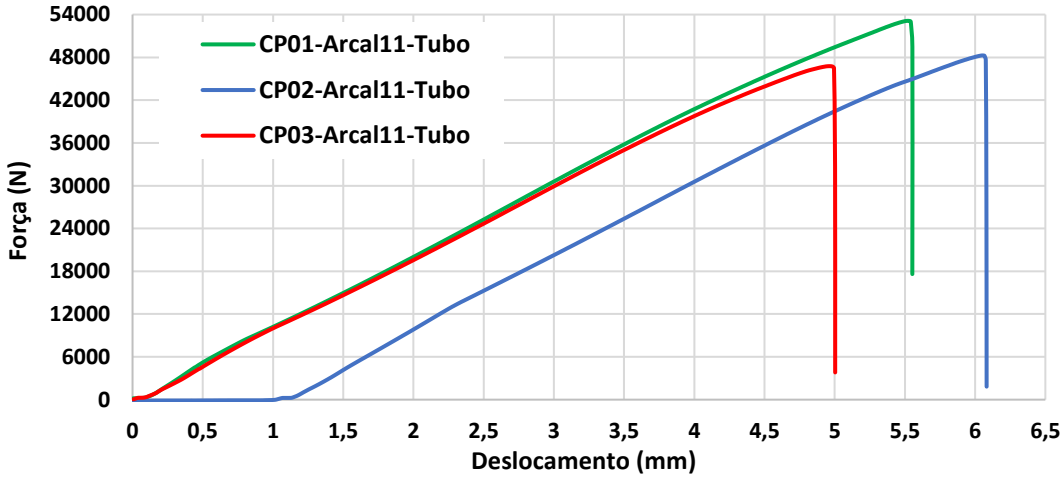
Tabela 6 - Resultado do ensaio mecânico de tração, gás ARCAL 11 no perfil tubo

Identificação das amostras (ARCAL 11 - Tubo)	σr (MPa)	Lim. Escoamento. (MPa)
Média	290,08	205,28
DP (desvio padrão)	16,0	3,9

Fonte: Autores (2021)

O Gráfico 4 mostra o ensaio de tração com gás ARCAL 11 no perfil de tubo.

Gráfico 4 - Resultado do ensaio mecânico de tração, gás ARCAL 11 no perfil tubo



Fonte: Autores (2021)

Os resultados obtidos mostram uma diferença de valores de tração que podem estar relacionadas a preparação na montagem, penetração e quantidade de material fundido. Os valores indicam uma participação do gás na formação da poça de fusão, principalmente o He devido ser um gás quente e retarda o resfriamento da poça de fusão (BRACARENSE, 2000).

Os resultados de resistência mecânica a tração obtida no perfil da barra foi melhor que no perfil do tubo, porém ambos bem abaixo se comparado com o valor do metal de base. O desvio padrão indica uma homogeneidade de propriedade ao longo da junta soldada para os perfis em estudo. Este fator pode estar relacionado com a composição do gás aplicado, com um aumento de área de fusão pela presença do gás He e H_2 em sua composição, retardando o resfriamento da junta com o aumento de velocidade de soldagem (BRACARENSE, 2000).

V SITEFA
Simpósio de Tecnologia da Fatec Sertãozinho

Figura 9 - Fratura do corpo de prova na solda



Fonte: Autores (2021)

Estes resultados estão relacionados ao tipo de junta aplicada, pois a área soldada foi de uma coroa circular (menor que a seção total da peça) e não do CP inteiro como mostra a figura 9, não sendo necessário comparar com valores de MB

4.2 Análise metalográfica

As microestruturas resultantes apresentaram diferentes valores de penetração no metal de base. A Figura 10 ilustra a penetração da solda com o gás ARCAL 11.

Figura 10 -Perfil de penetração da solda no metal de base com gás ARCAL 11

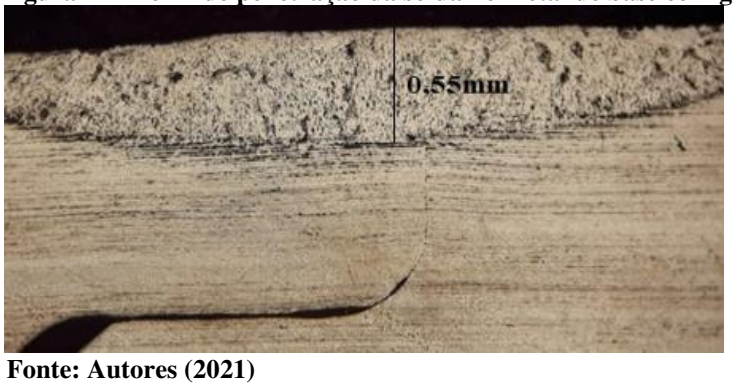


Fonte: Autores (2021)

Nota-se que a penetração da solda com ARCAL 11 foi quase que total em relação à espessura do tubo que é de 2,5mm.

A Figura 11 ilustra a penetração da solda com o gás argônio.

Figura 11 - Perfil de penetração da solda no metal de base com gás argônio



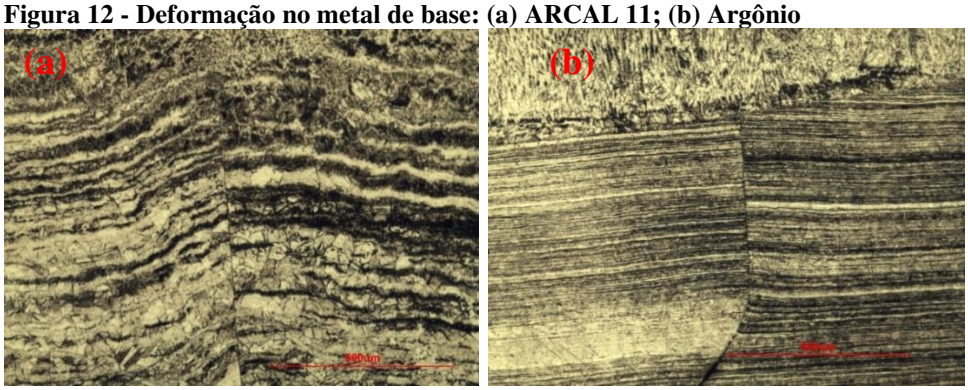
Fonte: Autores (2021)

Nota-se uma pequena penetração da solda com Argônio.

A zona fundida com o ARCAL 11 ficou com 2,15mm enquanto a ZF com Argônio ficou com 0,55mm, utilizando os mesmos parâmetros de soldagem. Esses valores mostram a eficiência do ARCAL 11 em relação ao Argônio. Conforme gráficos de tração 1, 2, 3 e 4.

A Figura 12 mostra a deformação ocorrida na estrutura do material com a solda de proteção gasosa de ARCAL 11, comparado com a do gás de proteção argônio.

Figura 12 - Deformação no metal de base: (a) ARCAL 11; (b) Argônio

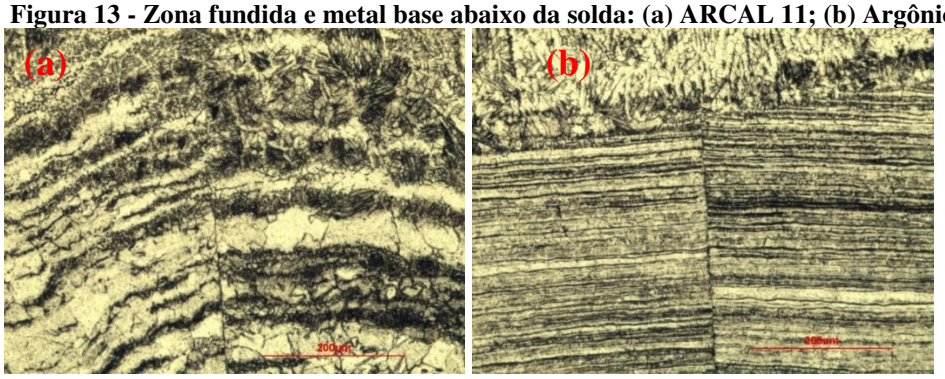


Fonte: Autores (2021)

Nota-se que a microestrutura alinhada, devido ao processo de fabricação do tubo, da amostra soldada com ARCAL 11, ficou deformada e com um aumento dos grãos, após a soldagem.

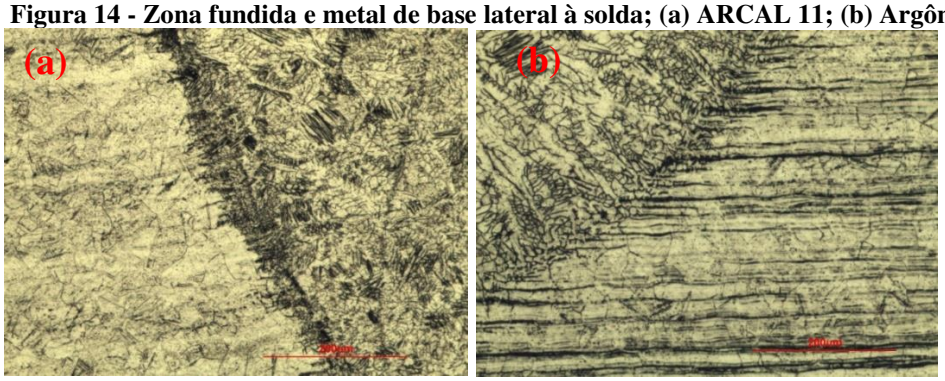
A Figura 13 e 14 representam a comparação da zona fundida (ZF) no metal de base (MB) com as soldas com proteção de gás ARCAL 11 e argônio com aumento de 100X.

Figura 13 - Zona fundida e metal base abaixo da solda: (a) ARCAL 11; (b) Argônio



Fonte: Autores (2021)

Figura 14 - Zona fundida e metal de base lateral à solda; (a) ARCAL 11; (b) Argônio

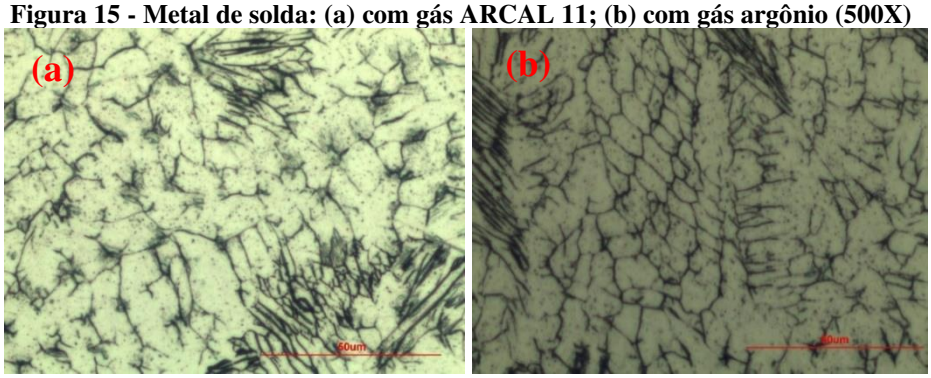


Fonte: Autores (2021)

Observa-se que a região próxima à ZF da amostra soldada com ARCAL 11 sofreu uma recristalização e homogeneização da estrutura quando comparada à amostra soldada com argônio.

A Figura 15 mostra a estrutura do metal de solda com os diferentes gases utilizados.

Figura 15 - Metal de solda: (a) com gás ARCAL 11; (b) com gás argônio (500X)



Fonte: Autores (2021)

Nota-se na ZF, uma microestrutura típica de solda autógena de um aço AISI 316L, evidenciando austenita e ferrita delta (fase escura) numa fração dentro do previsto, que varia de 5 a 10% de ferrita-δ na microestrutura da solda, sendo que esta quantidade é suficiente para evitar trincas de solidificação a quente. Não se notou variação microestrutural significativa entre os processos com ARCAL 11 e Argônio.

4.3 Ensaio de Microdureza

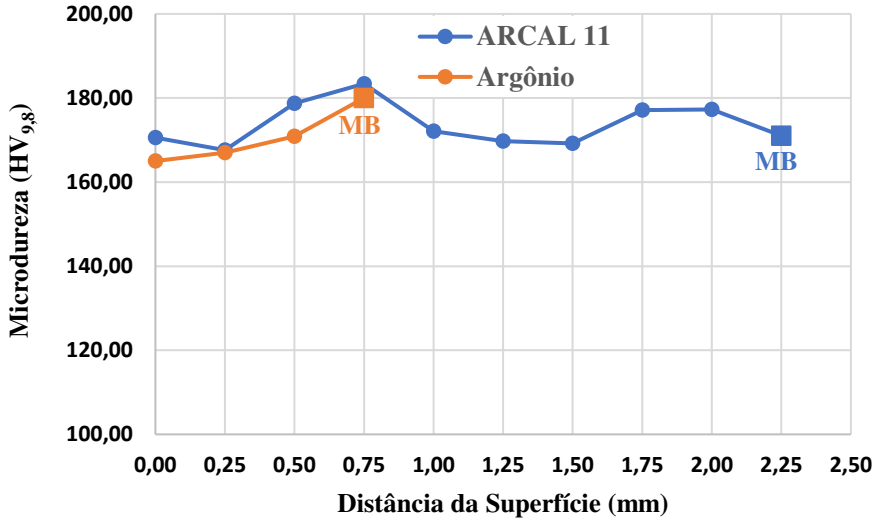
Os resultados obtidos de dureza mostram uma diminuição de dureza no depósito de metal de solda, em relação ao metal de base.

Os resultados encontrados corroboram com os valores encontrados por Demarque et al. (2018). É visível a influência do gás ARCAL 11 na penetração da solda, como se nota nos corpos de prova soldados com Argônio, o perfil de dureza foi até 0,75mm, enquanto a solda com ARCAL 11 foi até 2,15mm.

Nota-se também que a dureza do metal base ficou ligeiramente maior para os CPs soldados com Argônio, provavelmente por não haver aumento do tamanho de grão como ocorreu na soldagem com ARCAL 11.

O Gráfico 5 representa o perfil de dureza dos corpos de prova.

Gráfico 5 - Perfil de dureza dos corpos de prova



Fonte: Autores (2021)

5 CONCLUSÕES

A quantidade de material fundida e a penetração devem ser considerados os principais fatores para os resultados obtidos com o gás argônio. Com o gás ARCAL 11, a presença dos gases hélio e hidrogênio, proporcionaram uma melhora nos resultados de tração, devido ao aumento de material fundido e a penetração da solda.

Os resultados obtidos nos ensaios de tração e de dureza encontrados para ambos os gases de proteção não devem ser comparados com os do MB em função da área soldada ser menor que a área total da seção da peça.

As análises metalográficas apresentaram estrutura com austenita e ferrita delta conforme literatura, isentas de trincas para ambos os corpos de prova, não evidenciando diferença significativa na microestrutura da zona fundida.

REFERÊNCIAS

ABS. **A Soldagem GTAW (ou TIG).** Revista de Soldagem, Ano 1, nº6. 2006. Disponível em: http://www.abs-soldagem.org.br/s&i/. Acesso em: 06 out. 2021.

AIR LIQUIDE. Air Liquide Brasil. **Arcal (mistura para solda).** 2020. Disponível em: https://catalogo.airliquide.com.br/arcal-mistura-para-solda. Acesso em: 10 set. 2021.

ALUSOLDA Brasil - Equipamentos & Produtos para Solda & Corte. **Soldagem em aço inox: processos e cuidados**. 2021. Disponível em: https://alusolda.com.br/conteudo/artigos. Acesso em: 05 out. 2021.

ALUMAQ Locação e Comércio de Máquinas de Solda. **O que é solda TIG?** 2018. Disponível em: https://www.alumaq.com.br Acesso em: 11 out. 2021.

ASME. American Society of Mechanical Engineers. Boiler and Pressure Vessel, an International Code. **Code II, Part A, Ferrous Material Specifications**, 2017.

_____ American Society of Mechanical Engineers. Boiler and Pressure Vessel, an International Code. **Code IX, Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators**, 2019.

ASTM. American Society for Testing and Materials. **ASTM E3-11, Standard Guide for Preparation of Metallografic Specimens**. ASTM International, USA, Dec. 2011.

_____ American Society for Testing and Materials. **ASTM E8 / E8M - 16A Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials.** ASTM International, Oeste Conshohocken, 2016.

_____ American Society for Testing and Materials. **ASTM A370 - 19 Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products**. ASTM International, USA, Jul. 2019.

_____American Society for Testing and Materials. **ASTM E384-16. Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials**. ASTM International. Pennsylvania, United States. Fev. 2016.

BRACARENSE, A. Q. **Processo de Soldagem TIG -GTAW**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte (MG), 2000. Disponível em: https://asmtreinamentos.com.br/downloads/soldador/arquivo40.pdf. Acesso em: 10 set 2021.

BRITO, J. de D. **Manual de Tecnologia de Fabricação e Soldagem**. Núcleo Tecnológico de Soldagem & Qualidade. Processo de Soldagem TIG. Módulo I-8. São Paulo (SP). 2002. Disponível em: http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EngMec_NOTURNO/TM354/Manual%20de%20Processos%20de%20Soldagem.pdf. Acesso em: 04 out. 2021.

DEMARQUE, R.; SILVA, R. dos S.; SANTOS, E. P. dos; CASTRO, J. A. de. **Avaliação de Parâmetros de Soldagem nas Características de Juntas Dissimilares Inconel 718 - Inox 316L Soldadas pelo Processo TIG Autógeno.** Artigos Técnicos - Soldagem & Inspeção. 23 (3) Jul-Sep, 2018. https://doi.org/10.1590/0104-9224/SI2303.07

ESAB Indústria e Comércio Ltda. **Apostila Soldagem TIG**. 2007. Disponível em: https://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/processo_soldagem_tig_gtaw.cfm. Acesso em: 11 out. 2021.

_____. ESAB Indústria e Comércio Ltda. **Apostila Melalurgia da Soldagem**. 2005. Disponível em:https://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/apostilametalurgiasoldagem_rev2. Acesso em: 11 out. 2021.

GIMENES, L. Jr.; CHIEPPE D. N. **Gases de proteção para soldagem a arco elétrico.** INFOSOLDA Portal Brasileiro de Soldagem. 2016. Disponível em:

https://infosolda.com.br/wp-content/uploads/Downloads/Artigos/processos_solda/gases-de-protecao-para-soldagem-a-arco-eletrico.pdf. Acesso em: 05 out. 2021.

MORAES, F. P. de, F. L. **Microestrutura e propriedades de um tubo de aço inoxidável austenítico AISI 316L após 100.700 horas de exposição a 640ºC**. 53 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. São Paulo (SP), 2020. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3133/tde-21012021-114402/pt-br.php. Acesso em: 01 out. 2021.

SERAFINI, F. L. **Microestrutura e propriedades tribológicas de aços austeníticos Fe-Cr-Ni-Mo sinterizados com adição de itria e boro**.74 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Caxias do Sul, Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais. Caxias do Sul (RS), 2016. Disponível em: https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/1336/Dissertacao%20Francisco%20Lanferdini%20Serafini.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 01 out. 2021.

SUMIG. SUMIG Soluções para Solda e Corte. **Apostila Processo TIG**. 2014. Disponível em: https://www.sumig.com/pt/blog/post/processo-de-solda-tig. Acesso em: 11 out. 2021.