

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

VITOR CRUZ VIDAL

**UTILIZAÇÃO DE GÁS DE PURGA NO PROCESSO DE SOLDAGEM TIG EM AÇO
INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO ABNT 304**

CURITIBA

2022

VITOR CRUZ VIDAL

**UTILIZAÇÃO DE GÁS DE PURGA NO PROCESSO DE SOLDAGEM TIG EM AÇO
INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO ABNT 304**

**The use of purge gas in the TIG welding process in austenitic stainless steel
ABNT 304**

Trabalho de conclusão de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Profº Dr. Fábio Martins

CURITIBA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

VITOR CRUZ VIDAL

**UTILIZAÇÃO DE GÁS DE PURGA NO PROCESSO DE SOLDAGEM TIG EM AÇO
INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO ABNT 304**

Trabalho de conclusão de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 23 / junho / 2022.

Fábio Martins
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Euclides Alexandre Bernardelli
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Mario Teske
Mestre
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CURITIBA

2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família pelo suporte durante todos esses anos e por me encorajar a seguir pela vida acadêmica.

Agradeço ao meu orientador, Professor Dr Fábio Martins por ter acolhido minha proposta de projeto e por ter me guiado durante esse processo.

Agradeço ao meu supervisor Engenheiro Pierre Vicente por ter me ajudado a identificar oportunidades durante a execução do projeto.

Agradeço a outras pessoas que de alguma forma contribuíram para a construção desse trabalho. De modo especial agradeço ao sr Joel que dedicou horas de trabalho na soldagem das amostras.

Agradeço aos meus amigos que me deram suporte e apoio durante esses anos de graduação.

RESUMO

A indústria alimentícia exige um elevado nível de segurança contra contaminação de alimentos. Dessa forma, máquinas e equipamentos utilizados para processamento não devem conter material que, em contato com o alimento, liberem substâncias alheias ao processo, podendo causar prejuízo à saúde do consumidor. Para evitar algumas formas de contaminações, a construção de maquinários segue normas específicas para escolha do material que entrará em contato com alimento. Um dos materiais mais indicados para esse uso são os aços inoxidáveis, devido a suas características, sendo uma delas a resistência à corrosão. Porém devido ao processo de soldagem, ocorre que o aço inoxidável pode vir a apresentar uma camada de oxidação, isso devido a soldagem com proteção atmosférica deficiente ou incorreta ou com parâmetros não regulados corretamente. A fim de encontrar uma solução para uma demanda identificada foram realizados 12 experimentos de soldagem TIG em chapas de aço inoxidável ABNT 304L analisando quatro condições de vazão de gás de purga. Com isso buscou-se avaliar a melhor condição de proteção com gás de purga e otimizar parâmetros como por exemplo controle de velocidade de soldagem. Como resultado, experimentos com as vazões de purga selecionadas protegeram a raiz da junta soldada. .

Palavras-chave: aço inoxidável; soldagem; oxidação; purga.

ABSTRACT

The food industry requires a high level of safety against food contamination. Thus, machinery and equipment used for processing must not contain material that, in contact with food, releases substances that are not part of the process, which could harm the consumer's health. To avoid some forms of contamination, the construction of machinery follows specific standards for choosing the material that will come into contact with food. One of the most suitable materials for this use is stainless steel, due to its characteristics, one of which is its resistance to corrosion. However, due to the welding process, stainless steel may present an oxidation layer, this due to welding with deficient or inadequate shielding gas and with parameters not properly regulated. In order to find a solution to an identified demand, 12 TIG welding experiments were carried out on ABNT 304L stainless steel sheets, analyzing four conditions of purge gas flow. Thus, it was sought to evaluate the best protection condition with purge gas and to optimize parameters such as welding speed control. As a result, experiments with selected purge flow rates protected the root of the weld joint.

Keywords: stainless steel; welding; oxidation; purge.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema de classificação para aços	12
Figura 2 - Diagrama de teor de Cromo em aços	13
Figura 3 - Divisão dos aços inoxidáveis da série 300	15
Figura 4 - Divisão dos aços inoxidáveis da série 400	17
Figura 5 - Regiões do cordão de sol	18
Figura 6 - Representação de uma unidade de purga	24
Figura 7 - Amostra aço inox 304	25
Figura 8 - Dispositivo de solda	26
Figura 9 - Inversora TIG	27
Figura 10 - Raiz da junta soldada sem gás de purga. 1A primeiro experimento, 2A segundo experimento e 3A terceiro experimento para essa condição sem purga	28
Figura 11 - Raiz da junta soldada com vazão de 8 l/min. de gás de purga. 1B primeiro experimento, 2B segundo experimento e 3B terceiro experimento para essa condição purga	29
Figura 12 - Raiz da junta soldada com vazão de 12 l/min. de gás de purga. 1C primeiro experimento, 2C segundo experimento e 3C terceiro experimento para essa condição	30
Figura 13 - Raiz da junta soldada com vazão de 16 l/min. de gás de purga. 1D primeiro experimento, 2D segundo experimento e 3D terceiro experimento para essa condição	30
Figura 14 - Cordão de solda. Amostra 1B, 3D e 3C	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exemplos de aços de alta-liga resistentes à corrosão e a altas temperaturas.....	14
Tabela 2- Características dos gases Argônio e Hélio utilizados no processo de soldagem TIG.....	19
Tabela 3 - Especificação do metal de adição.....	20
Tabela 4 - Vazão do Argônio em função da corrente.....	21
Tabela 5 - Gases de proteção e tipos de corrente usuais na soldagem TIG.....	21
Tabela 6 - Composição química do eletrodo de Tungstênio.....	22
Tabela 7 - Composição química vareta ER 308L.....	25
Tabela 8 - Tempo de solda nas três seções da amostra.....	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Contextualização do tema	10
1.2	Objetivo Geral	11
1.3.1	Objetivos específicos.....	11
1.3	Justificativa	11
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1	Aços Inoxidáveis	12
2.1.1	Classificação dos aços inoxidáveis.....	14
<u>2.1.1.1</u>	<u>Austenítico</u>	<u>15</u>
<u>2.1.1.2</u>	<u>Ferrítico</u>	<u>16</u>
<u>2.1.1.3</u>	<u>Martensítico</u>	<u>16</u>
2.2	Processo de Soldagem	17
2.2.1	Processo TIG.....	19
2.3	Consumíveis	20
2.4	Purga	22
2.4.1	Argônio.....	24
3	MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1	Materiais	25
3.1.1	Metal Base.....	25
3.1.2	Metal de Adição.....	25
3.1.3	Eletrodo.....	25
3.1.4	Gás de Proteção e Gás de Purga.....	25
3.2	Métodos	26
3.2.1	Dispositivo para injeção do gás de purga.....	26
3.2.3	Soldagem das chapas.....	27
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS	28
4.1	Análise da Oxidação	28
4.2	Análise Visual do Cordão de Solda	31
5	CONCLUSÃO	33
	REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização do tema

As panificadoras representam uns dos segmentos mais tradicionais do país. No Brasil, mais de 63 mil panificadoras atendem, por dia, aproximadamente 44 milhões de brasileiros (SOUSA JÚNIOR; LONGHINI; COSTA, 2017). A alta concorrência desse mercado, impulsionou o desenvolvimento e inovação em máquinas e equipamentos (SEBRAE, 2015).

Um ponto chave que norteou esse desenvolvimento foi a segurança alimentar, de modo a buscar condições seguras contra contaminação de alimentos ao entrarem em contato com equipamentos produzidos para processamento e panificação.

Para produção desses equipamentos é essencial o controle dos processos de fabricação, como a soldagem, a fim de garantir a qualidade dos produtos, com objetivo de inibir o aparecimento de defeitos como a oxidação e posterior corrosão e assim evitar a contaminação dos alimentos.

Além do controle dos processos de fabricação, se recomenda utilizar para construção das máquinas e equipamentos nas partes onde haverá contato com alimentos, o uso de aços inoxidáveis, conforme Resolução RDC nº 20, de 22 de março de 2007 (PÓVOA, 2017). Pois o material que entrará em contato com o alimento não deverá transmitir substâncias tóxicas nem influenciar nos cheiros e sabores do alimento processado (SEBRAE, 2015).

Os aços inoxidáveis são ligas metálicas compostas por Ferro, Cromo, Níquel, Molibdênio, entre outros elementos em menor quantidade. A sua composição o torna resistente à oxidação generalizada, por isso é indicado para uso com alimentos. Apresentando bom aspecto superficial, sendo muitas vezes polido o que facilita a remoção de sujeira e boa assepsia. Os aços inoxidáveis são divididos de acordo com a fase predominante da microestrutura em temperatura ambiente, podendo ser elas a Austenita, Ferrita e Martensita. De acordo com Chiaverini (1996), os aços possuem diferentes configurações devido a sua composição.

E sua classificação varia de acordo com a sua composição química. Os aços inoxidáveis austeníticos, pela norma ABNT fazem parte da série ABNT 300 sendo o mais comum o ABNT 304. Já a série ABNT 400 contempla os aços inoxidáveis ferrítico e martensítico, sendo o aço ABNT 430 o aço inoxidável mais comum ferrítico e o ABNT 420 o inoxidável martensítico mais conhecido (BRUNATTO, 2016).

O processo de soldagem é altamente utilizado na indústria para união de peças metálicas. Para união de chapas em aço inox os processos de soldagem Eletrodo revestido, MIG/MAG e TIG são os mais comuns. O que determinará qual processo será utilizado são aspectos da peça e seu emprego, como geometria, posição de trabalho, acabamento e relação custo-benefício, entre outros.

O processo de soldagem Tig é bastante utilizado para união de chapas de aços inox, pois apresenta alta qualidade de acabamento, não apresenta escórias, não causa respingos, apresenta ainda boas propriedades mecânicas, utilizado para estanqueidade e pode ser empregado com ou sem metal de adição dependendo da espessura da chapa. Para um bom resultado no processo de soldagem é necessário rígido controle dos parâmetros de trabalho (ESAB, 2021).

Para aumentar a proteção contra oxidação na raiz da solda é indicada a utilização de um sistema de proteção chamado purga utilizando um gás inerte, esse processo visa impedir a penetração de oxigênio na raiz da solda e o gás utilizado nesse processo é denominado gás de purga. Via de regra, o gás mais utilizado para proteção gasosa no processo TIG é o argônio (GALDINO, 2014).

1.2 Objetivo Geral

Avaliar a utilização de gás de purga em juntas de peças de aço inoxidável 304 soldadas pelo processo TIG para aumentar a proteção contra oxidação.

1.3.1 Objetivos específicos

Averiguar a qualidade da raiz da junta após utilização de gás de purga.

Revisar o processo de soldagem TIG utilizado pela empresa.

Alterar parâmetros do processo de soldagem TIG utilizado pela empresa visando a otimização do processo.

1.3 Justificativa

A ideia para esse trabalho partiu de duas necessidades. A primeira necessidade foi a de encontrar um tema que fosse ligado à Engenharia Mecânica e permitisse explorar e empregar alguns dos conceitos aprendidos durante os anos de graduação.

A segunda necessidade surgiu pela experiência em um estágio numa empresa do ramo de máquinas e equipamentos de panificação, onde existe a necessidade de inibir a oxidação em algumas peças em aço inoxidável ABNT 304 soldadas pelo processo TIG, devido ao contato de alimentos na superfície das peças. Tendo em vista a exigência de inibir o surgimento de oxidação em peças que entrarão em contato com alimentos, surgiu a ideia de explorar o sistema de purga utilizado pela empresa no processo de soldagem em aços inoxidáveis. Caso o sistema seja ineficiente, as oxidações poderão aparecer.

Esse trabalho consistirá na análise da utilização do gás de purga como forma de solução para o problema de oxidação e por isso estará inserido dentro da engenharia mecânica, pois estará envolvendo áreas de fabricação e ciência dos materiais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

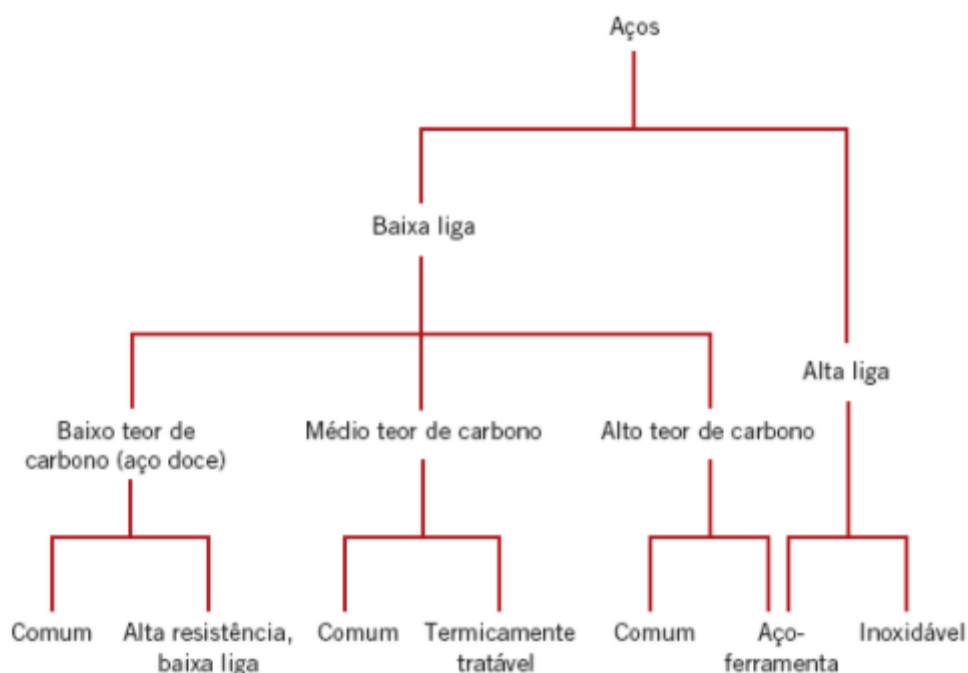
2.1 Aços Inoxidáveis

Os aços são ligas metálicas constituídas por ferro e carbono e podem apresentar concentrações de outros elementos de liga. O aço carbono normalmente apresenta concentrações de carbono inferior a 1,0%. (CALLISTER, 2020).

De acordo com Chiaverini (1996), os aços possuem diferentes configurações devido a sua composição. Para classificá-los existem normas que os dividem em grupos com base em alguma característica do aço. Geralmente são divididos em função da composição química do aço, normas americanas como AISI (American Iron and Steel Institute) e SAE (Society of Automotive Engineers), utilizam esse método de classificação. Nos aços AISI-SAE os dois últimos algarismos representam o teor de carbono presente no aço, já os dois primeiros algarismos indicam a presença de elementos de liga. Por exemplo, um aço AISI 1045, possui 0,45% de teor de carbono e sendo da família 10 que são aços simples ao carbono. Outras normas classificam os aços com referência a outras características. A norma DIN (Deutsches Institut für Normung) 17100 classifica os aços conforme o limite de resistência à tração. No Brasil a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) para classificar os aços, segue os critérios utilizados pelas normas americanas AISI e SAE.

A Figura 1 a seguir apresenta classificação dos aços devido a sua composição química.

Figura 1 - Esquema de classificação para aços.



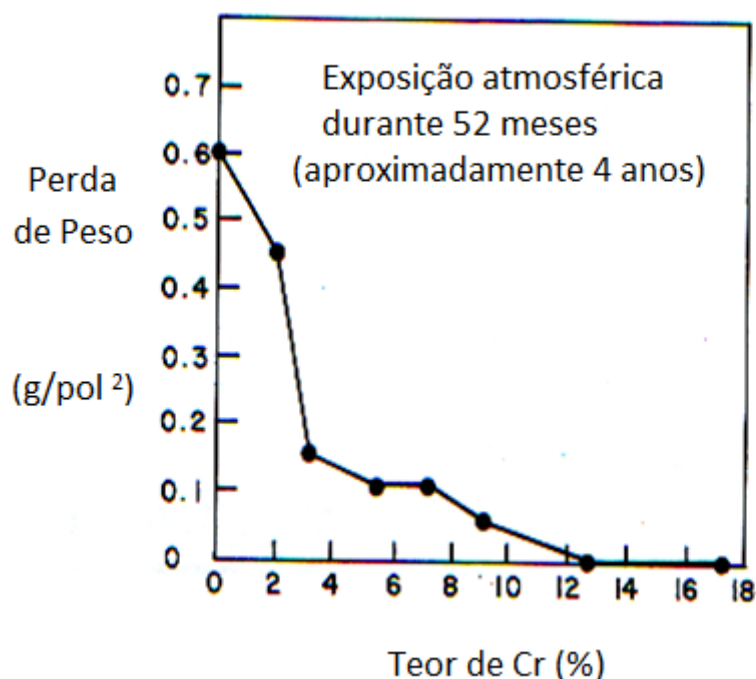
Fonte: Callister modificado, 2020.

Os aços inoxidáveis são caracterizados pela adição de cromo em sua estrutura, contendo níveis de concentração a partir de 11%. Além da presença do elemento cromo o aço inoxidável pode ser constituído por outros elementos como Níquel e molibdênio entre outros. (CALLISTER, 2020).

Os aços têm grande interação com o ar atmosférico, essa interação provoca a oxidação das camadas externas do metal levando a corrosão. A presença de cromo confere maior resistência à corrosão ao aço inoxidável, pois cria uma camada passiva na superfície do aço inoxidável, essa camada é formada pela interação química entre oxigênio do ar e o cromo formando óxido de cromo, é estável em temperatura ambiente. A camada passiva formada pelo cromo e oxigênio é extremamente fina. (ARCELORMITTAL, 2008).

A Figura 2 mostra que a diminuição das perdas de peso por corrosão está diretamente ligada ao aumento da concentração de teor de cromo do material. Comprovando a eficácia do elemento na prevenção de corrosão em metais.

Figura 2 - Diagrama de teor de Cromo em aços.



Fonte: Abinox, 2021.

O aumento da resistência à oxidação está diretamente ligado ao aumento dos níveis de concentração de cromo presente na estrutura do aço inoxidável.

A adição de cromo eleva a resistência à corrosão pela formação de camada passiva, a partir de 11% de teor de cromo passa a ser útil contra a corrosão.

Além da influência do cromo, outro elemento de destaque na melhora de propriedades é o elemento Níquel que eleva a resistência mecânica. (ARCELORMITTAL, 2008).

2.1.1 Classificação dos aços inoxidáveis

Os aços inoxidáveis podem ser classificados de diversas formas, seja pela sua microestrutura predominante ou pela série comercial, por exemplo 300 ou 400. Devido a microestrutura de maior presença o aço inoxidável é separado em três grupos, Austeníticos, Ferríticos e Martensíticos (ARCELORMITTAL, 2008).

A Tabela 1 apresenta alguns dos principais aços inoxidáveis de suas composições químicas e a microestrutura presente após um estado de tratamento.

Tabela 1 - Exemplos de aços de alta-liga resistentes à corrosão e a altas temperaturas.

Aço (tipo)	Composição (% em peso)					Microestrutura (estado de tratamento)
	C	Cr	Ni	Mo	Outros	
ABNT 410 (inoxidável martensítico)	0,10	12,00	-	-	-	ferrítica (recozido) martensítica (temperado)
ABNT 420 (inoxidável martensítico)	0,35	13,00	-	-	-	ferrítica (recozido) martensítica (temperado)
ABNT 416 (inoxidável martensítico)	0,15 máx.	13,00	-	-	S 0,15 mín.	ferrítica (recozido) martensítica (temperado)
ABNT 302 (inoxidável austenítico)	0,15 máx.	17,50	8,30	-	-	parcialmente martensítica (deformado a frio)
ABNT 304 (inoxidável austenítico)	0,08 máx.	18,30	8,50	-	-	parcialmente martensítica (deformado a frio)
ABNT 304L (inoxidável austenítico)	0,03 máx.	19,00	10,00	-	-	parcialmente martensítica (deformado a frio)
ABNT 310 (inoxidável austenítico)	0,25 máx.	25,00	20,00	-	-	parcialmente martensítica (deformado a frio)
ABNT 316 (inoxidável austenítico)	0,08 máx.	16,50	11,00	2,20	-	parcialmente martensítica (deformado a frio)
ABNT 316L (inoxidável austenítico)	0,03 máx.	17,00	12,00	2,20	-	parcialmente martensítica (deformado a frio)

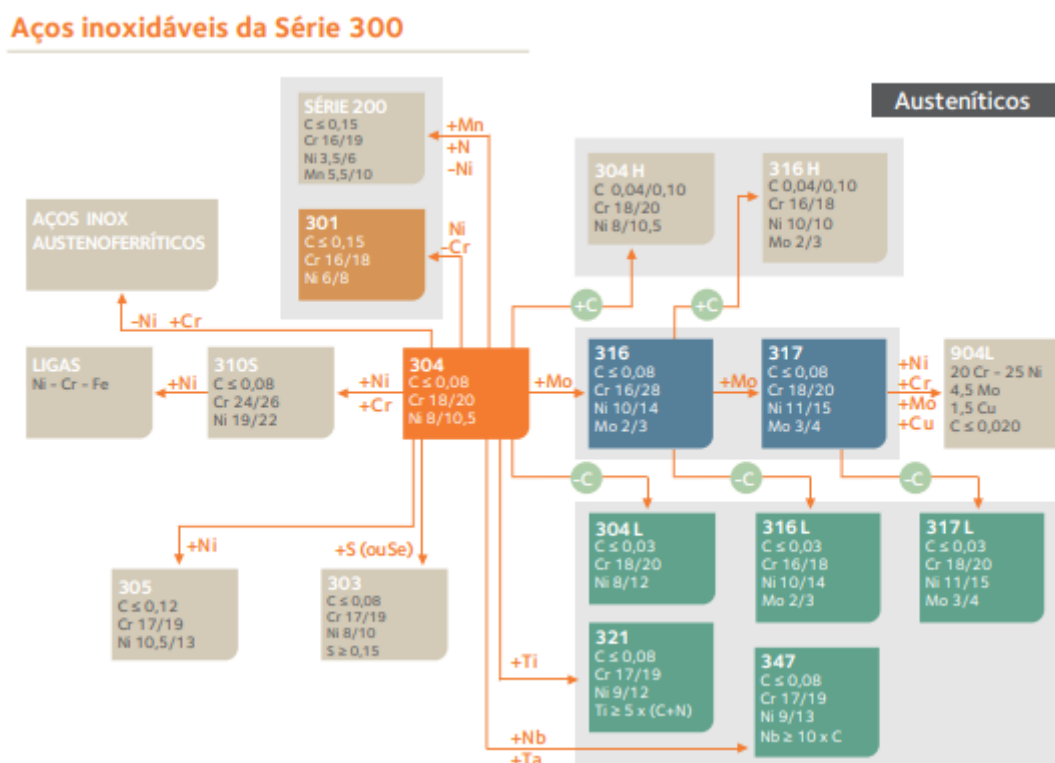
Fonte: BRUNATTO, 2016.

2.1.1.1 Austenítico

Os aços inoxidáveis austeníticos são os aços da série 300 e possuem na sua composição a presença do elemento níquel. Esse elemento transforma a microestrutura em austenita formada pela estrutura CFC (ARCELORMITTAL, 2008). Os aços inoxidáveis apresentam de modo geral elevada resistência à corrosão, boa soldabilidade, elevada ductilidade e limite de resistência e baixo limite de escoamento. Possuem entre 6% a 26% de níquel e 16% a 30% de cromo, baixo teor de carbono, menos que 0,03% de carbono (MODENESI, 2001).

Os austeníticos podem ser empregados em diferentes temperaturas desde altas temperaturas (até 1.150°C) até baixas temperaturas (uso criogênico). Ainda possuem boa estampabilidade, porém devido a conformação a frio pode apresentar uma mudança parcial da microestrutura em martensita (ARCELORMITTAL, 2008). Na Figura 3 a seguir é apresentado de forma esquemática a composição dos aços inoxidáveis da série 300.

Figura 3 – Divisão dos aços inoxidáveis da série 300.



Fonte: ARCELORMITTAL, 2008

O aço AISI 304 é o mais comum utilizado pelas indústrias, possui 18% cromo e 8% de níquel, não é um aço temperável. Comumente utilizado na indústria química, farmacêutica e alimentícia. A adição de molibdênio até 4% eleva a

resistência à corrosão do AISI 304 que passa a ser denominado 316 (BORGES, 2019).

2.1.1.2 Ferrítico

Os aços inoxidáveis ferríticos são aços da série 400 e possuem estrutura CCC, não são endurecidos por têmpera. São constituídos com cerca de 12 a 30% de cromo, e teor de carbono até 0,1% (MODENESI, 2001). Não são os mais indicados para o processo de soldagem pois a precipitação de carbonitreto de cromo e o crescimento do grão fragilizam sua estrutura e diminuem a resistência à corrosão após a soldagem. Existem algumas saídas para essa limitação, como o recozimento da peça após a soldagem para refino do grão ou a adição de elementos de liga como titânio e nióbio como forma de limitar o crescimento do grão (ARCELORMITTAL, 2008).

O aço ferrítico mais usado pela indústria em geral é o AISI 430 porém devido a sua limitação de soldagem é empregado em processos que não envolvem soldagem crítica. É utilizado na fabricação de turbinas, parafusos, porcas, pias entre outros (BORGES, 2019).

2.1.1.3 Martensítico

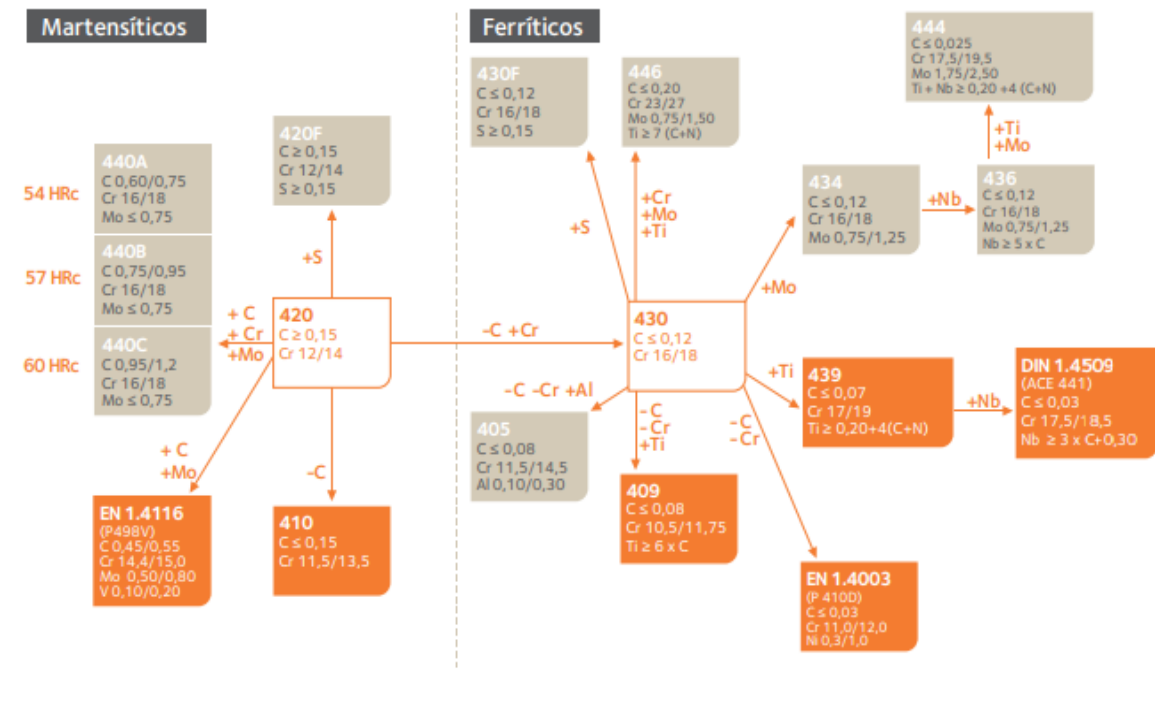
No aço inoxidável martensítico a microestrutura é caracterizada pela presença de martensita que se originou a partir do resfriamento transformando austenita em martensita. Essa fase é marcada pela fragilidade e baixa ductilidade sendo composta por um alto teor de carbono. Fazem parte da série 400, são aços com teor de cromo entre 11% a 18% (MODENESI, 2001).

O aço mais comum a ser utilizado é o AISI 420 com 12% de cromo e 0,35% de carbono. Quando empregado após recozimento não apresenta boa resistência à corrosão. Isso se deve pela formação de carboneto de cromo após o recozimento a temperatura na faixa de 760° C, esse carboneto de cromo precipita e retira cromo das camadas externas do aço. Para inibir a formação de carboneto é indicado o processo de têmpera que irá transformar a ferrita em austenita e posteriormente em martensita isso faz com que a martensita não precipite na forma de carboneto. Uma utilização comum para o inox AISI 420 é a fabricação de facas devido a dureza proveniente do endurecimento por têmpera (ARCELORMITTAL, 2008).

A Figura 4 a seguir é apresentado de forma esquemática a composição dos aços inoxidáveis da série 400, ferríticos e martensíticos.

Figura 4 – Divisão dos aços inoxidáveis da série 400.

Aços inoxidáveis da Série 400



Fonte: ARCELORMITTAL, 2008.

2.2 Processo de Soldagem

A união de metais pode ser dividida entre o emprego de forças macroscópicas e o uso de forças microscópicas. Na ação de forças macroscópicas a união das partes se dá pelo uso de parafusos e rebites, por exemplo. Já as forças microscópicas são de carácter intermolecular e interatômico, cuja a união irá gerar novas ligações químicas e dessa forma de união se encontra processos como soldagem, brasagem entre outros (MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2009).

O processo de soldagem consiste na união de peças metálicas através do aquecimento da região a ser unida até certa temperatura, pode ser com ou a utilização de metal de adição e com ou sem emprego de pressão (BRANDÃO, 2021).

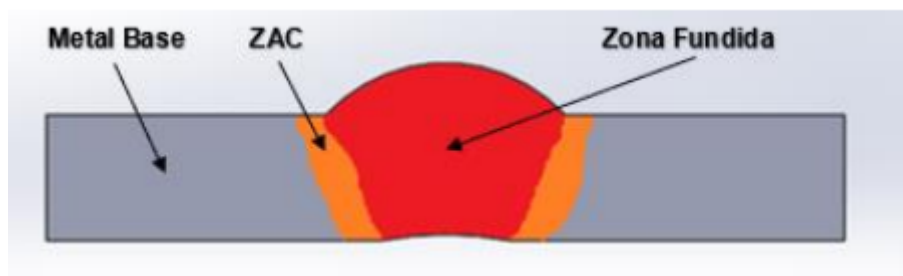
A soldagem é o processo mais comum utilizado para união de peças e existe um grande número de operações de união de chapas conhecidas como soldagem. Esse processo pode ser dividido em dois grupos.

Segundo Marques, Modenesi, Bracarense (2009), o primeiro grupo é definido como processos de soldagem por pressão que basicamente é a união das peças através da deformação das superfícies de contato e consiste em operações como forjamento, difusão, fricção, entre outros. Já o segundo grande grupo consiste

nos processos de soldagem por fusão. Fazem parte desse processo a soldagem à arco, sendo o arco elétrico a fonte energética, esse processo é o mais utilizado para união de peças pelo processo de fusão.

A Figura 5 mostra a representação de uma região do cordão de solda. Sendo composta pelo metal base, pela ZAC (Zona Afetada pelo Calor) e pela zona fundida.

Figura 5 - Regiões do cordão de solda.



Fonte: Adaptado de Santos, 2015.

O processo de soldagem por fusão funde o metal base na região de contato o que permitirá a adesão entre as superfícies a serem unidas. Esse processo pode ser dividido com relação a fonte energética que pode ser elétrica, termoquímicas e radiantes. (BRANDÃO, 2021).

Na soldagem por fusão existem duas variantes para sua utilização, a primeira é o processo de soldagem autógeno que consiste na fusão da borda da superfície de contato das peças a serem unidas, união sem utilização de metal de adição nessa técnica a união é direta entre as superfícies do metal base. O segundo método utiliza a adição de um metal que é depositado na região fundida do metal base. A adição de um metal ao processo pode elevar os custos da operação se comparado ao método autógeno, porém necessidades devido ao processo, a geometria e os benefícios físico-químicos que esse metal pode agregar devem ser considerados (BRANDÃO, 2021).

A soldagem é um processo de fabricação que busca a união de peças, sendo o resultado desse processo chamado de solda. O metal da peça a ser soldada é denominado metal base. A poça de fusão é formada pelo derretimento do metal base na região de contato e pelo depósito de metal de adição fundido por uma fonte de calor como o arco elétrico. O local onde será feita a união das peças é definido como junta. Nesse local onde a poça de fusão percorre e se solidifica (MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2009).

O arco elétrico é formado devido a uma descarga elétrica que permanece ativa devido a ionização de um gás e inicia pela emissão de elétrons do eletrodo negativo e se mantém pela ionização térmica do gás, que é a ionização pela colisão de partículas aquecidas (WAINER, BRANDI e MELLO, 1992).

2.2.1 Processo TIG

Processo de soldagem por fusão a partir do uso de arco elétrico, sendo essa operação denominada TIG (Tungsten Inert Gas) ou GTAW (Gas-Shielded Tungsten Arc Welding). Consiste na fusão do metal base na região de contato onde será unido a outra superfície, podendo ser empregado com a utilização de um metal de adição na forma de varetas (WAINER, BRANDI e MELLO, 1992).

Essa fusão se dá através do arco elétrico que se estabelece pela presença de um eletrodo de tungstênio e o metal base. O eletrodo de tungstênio devido ao seu alto ponto de fusão 3000° C não é consumível em contato com o metal base (BORGES, 2019).

A poça de fusão, o eletrodo e o arco elétrico durante o processo são protegidos por uma atmosfera protetora formada por um gás inerte. O gás visa proteger a solda de contaminações provocadas pelo ar atmosférico (MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2009).

O arco é estável nessa operação e isso possibilita soldas de bom acabamento e limpas. Esse processo também não gera escoriações nem respingos eliminando a chance de inclusões na junta soldada, não sendo necessário a limpeza do cordão de solda (ESAB, 2021).

Segundo Wainer, Brandi e Mello (1992), os gases de proteção mais empregados no processo de soldagem TIG são o Argônio (Ar), o Hélio (He) ou suas misturas. Para todas as configurações do gás de proteção, a pureza deverá ser de 99,99%.

A Tabela 2 a seguir apresenta características inerentes aos gases inertes utilizados no processo de soldagem.

Tabela 2- Características dos gases argônio e hélio utilizados no processo de soldagem TIG.

Ar	He
<ul style="list-style-type: none"> • Baixa tensão de arco; • Menor penetração • Adequado a soldagem de chapas finas; • Soldagem manual; • Maior ação de limpeza; • Arco mais estável; • Fácil abertura do arco; • Utilizado em CC e CA; • Custo reduzido; • Vazão para proteção pequena; • Maior resistência à corrente de ar lateral. 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevada tensão de arco; • Maior penetração; • Adequado a soldagem de grandes espessuras; • Soldagem automática; • Menor ação de limpeza; • Arco menos estável; • Dificuldade na abertura do arco; • Geralmente em CCPD com eletrodo de tungstênio toriado; • Vazão para proteção 2 a 3 vezes maior do que à do argônio; • Menor resistência à corrente de vento.

Fonte: Wainer, Brandi, Mello (1992).

O processo de soldagem TIG pode ser utilizado para união do mais variado tipo e espessura de peças, porém por suas características é bastante empregado para soldagem de chapas finas. E devido ao seu custo mais elevado é mais frequentemente empregado para soldagem de não ferrosos e aços inoxidáveis (MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2009, p20).

2.3 Consumíveis

Os principais consumíveis utilizados no processo de soldagem TIG são as varetas e arames de metal de adição e os gases de proteção. Já com relação ao eletrodo de Tungstênio considerado um item não consumível por apresentar alto desgaste necessita de substituição com certa frequência. O metal de adição utilizado na soldagem TIG, pelo processo manual, é encontrado na forma de vareta, o diâmetro da vareta dependerá de alguns fatores como a espessura do metal base, a quantidade de metal a ser depositado na junta e parâmetros de soldagem. A escolha do tipo de vareta está relacionada com a composição do metal base e com propriedades desejadas para a solda. A composição química das varetas seguem classificações e normas como a norma AWS. A Tabela 3 a seguir relaciona algumas normas com o tipo de metal de adição. (MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2009, p108).

Tabela 3 - Especificação do metal de adição.

Especificação	Tipo de metal de adição
AWS A 5.7	Arames e varetas para a soldagem de cobre
AWS A 5.9	Arames e varetas para a soldagem de aços inoxidáveis
AWS A 5.10	Arames e varetas para a soldagem de alumínio
AWS A 5.14	Arames e varetas para a soldagem de níquel
AWS A 5.15	Arames e varetas para a soldagem de ferro fundido
AWS A 5.16	Arames e varetas para a soldagem de titânio
AWS A 5.18	Arames e varetas para a soldagem de aço carbono
AWS A 5.19	Arames e varetas para a soldagem de magnésio
AWS A 5.21	Arames e varetas para revestimento
AWS A 5.22	Arames e varetas tubulares para soldagem de aços inoxidáveis
AWS A 5.24	Arames e varetas para a soldagem de zircônio
AWS A 5.28	Arames e varetas para a soldagem de aços de baixa liga

Fonte: Marques, Modenesi, Bracarense, 2009.

O gás de proteção a ser empregado no processo de soldagem TIG tem por função evitar a oxidação do eletrodo e proteger a poça de fusão de contaminações oriundas de reações com o ar ambiente, dessa maneira o gás de proteção deve

apresentar característica inerte. O Argônio e o Hélio e misturas deles são os gases mais utilizados nesse processo. A pureza do gás de proteção tem grande influência na qualidade da solda sendo exigido no mínimo um teor de 99,99% de pureza. A Tabela 4 relaciona a vazão do Argônio como gás de proteção no processo TIG em relação à corrente para uso com alguns materiais. (MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2009, p107).

Tabela 4 - Vazão do Argônio em função da corrente.

Material	Vazão do Gás (l/min) para Correntes (A) de					
	100	150	200	250	300	350
Aços ao carbono e inoxidável	5	6	7	8	9	9
Alumínio e suas ligas	6	7	8	10	11	12
Titânio, cobre, magnésio, níquel e suas ligas	9	11	12	14	15	16

Fonte: Machado, 1996.

A Tabela 5 a seguir relaciona materiais com o tipo de gás de proteção levando em consideração também a espessura do metal base.

Tabela 5 - Gases de proteção e tipos de corrente usuais na soldagem TIG.

Material	Espessura (mm)	Gás de proteção e tipo de corrente*	
		Soldagem manual	Soldagem mecanizada
Alumínio e suas ligas	< 3,2	Ar, CA	Ar, CA ou He, CC-
	> 3,2	Ar, CA	Ar-He, CA ou He, CC-
Aço Carbono	< 3,2	Ar, CC-	Ar, CC-
	> 3,2	Ar, CC-	Ar-He, CC- ou He, CC-
Aço Inoxidável	< 3,2	Ar, CC-	Ar-He, CC- ou Ar-H ₂ , CC-
	> 3,2	Ar-He, CC-	He CC-
Níquel e suas ligas	< 3,2	Ar, CC-	Ar-He, CC- ou He, CC-
	> 3,2	Ar-He, CC-	He CC-
Cobre e suas ligas	< 3,2	Ar-He, CC-	Ar-He, CC-
	> 3,2	He, CC-	He CC
Titânio e suas ligas	< 3,2	Ar, CC	Ar, CC- ou Ar-He, CC
	> 3,2	Ar-He, CC-	He CC-

Fonte: Marques, Modenesi, Bracarense, 2009.

O eletrodo, em teoria um item não consumível no processo de soldagem, é um elemento que devido ao seu alto desgaste necessita de substituição com certa frequência. Os eletrodos são componentes feitos de Tungstênio com a adição de óxidos. Para escolha do eletrodo deverá ser observado alguns fatores como o metal base e parâmetros de soldagem como por exemplo o tipo de corrente. A Tabela 6 a seguir mostra a composição química dos eletrodos de acordo com a classificação AWS. (MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2009, p107).

Tabela 6 - Composição química do eletrodo de Tungstênio.

Classificação AWS	Composição química (% peso)					
	Tungstênio (min)	CeO ₂	La ₂ O ₃	ThO ₂	ZrO ₂	Outros* (Max)
EWP	99,5	-	-	-	-	0,5
EWCe-2	97,3	1,8 a 2,2	-	-	-	0,5
EWLa-1	98,3	-	0,8 a 1,2	-	-	0,5
EWLa-1,5	97,8	-	1,3 a 1,7	-	-	0,5
EWLa-2	97,3	-	1,8 a 2,2	-	-	0,5
EWTh-1	98,3	-	-	0,8 a 1,2	-	0,5
EWTh-2	97,3	-	-	1,7 a 2,2	-	0,5
EWZr-1	99,1	-	-	-	0,15 a 0,40	0,5
EWG	94,5	#	#	#	#	#

Fonte: Marques, Modenesi, Bracarense, 2009.

A afiação do eletrodo é necessária para produzir características que melhorem o resultado da solda de maneira que quanto mais afiada for a ponta mais fácil se torna a abertura do arco, porém em contrapartida quanto mais agudo menor é a penetração do arco. (SUNAMOTO, SANTOS, SARNI e BOVERIO, 2019, p10).

2.4 Purga

No processo de soldagem por fusão há a atenção na proteção contra contaminação da poça de fusão pelo gás injetado pela tocha em direção a junta soldada. Porém além desse gás de proteção algumas peças devido a sua geometria e posterior utilização necessitam de uma outra proteção. A purga tem por finalidade proteger o lado oposto da junta. Essa proteção se deve a eliminação do Oxigênio em contato com o metal base pelo uso de um gás inerte (BORGES, 2019).

Purgar que consiste na ação de purificar algo eliminando impurezas. No processo de soldagem a purga possui a função de eliminar o Oxigênio da região posterior a junta evitando que o metal base que possua afinidade com o Oxigênio,

como ligas de alumínio e aços inoxidáveis, oxide levando a corrosão da peça (BORGES, 2019).

A norma AWS D10.4 recomenda o uso de purga como forma de evitar a oxidação da raiz pelo oxigênio presente no ar atmosférico. Além da proteção contra oxidação, a norma ainda cita que o gás de purga também influencia na tensão superficial, na poça de fusão e suas características e permite uma melhora na aparência superficial da junta e diminui a possibilidade de aparecimento de trincas. (GALDINO, 2014, p.21).

As superfícies com oxidação poderão resultar em corrosão, para livrar a peça da oxidação pode se utilizar diferentes mecanismos, contudo esses mecanismos irão apresentar diferentes resultados, como por exemplo, esmerilhar a peça soldada, irá remover a região oxidada, contudo será retirada juntamente a camada passiva. Em aços inoxidáveis cujo teor de cromo na composição do material for baixo não formará nova camada passiva em contato com o ar atmosférico sendo necessário tratamento de passivação (BORGES, 2019). Outro mecanismo é o uso de escovação ou jateamento do cordão, contudo para certas geometrias, como tubulações, o acesso ao cordão oxidado não será possível. Por isso a utilização de um gás inerte para purgar a peça internamente, contra oxidação, se faz necessário. (ARAMAT, 2015).

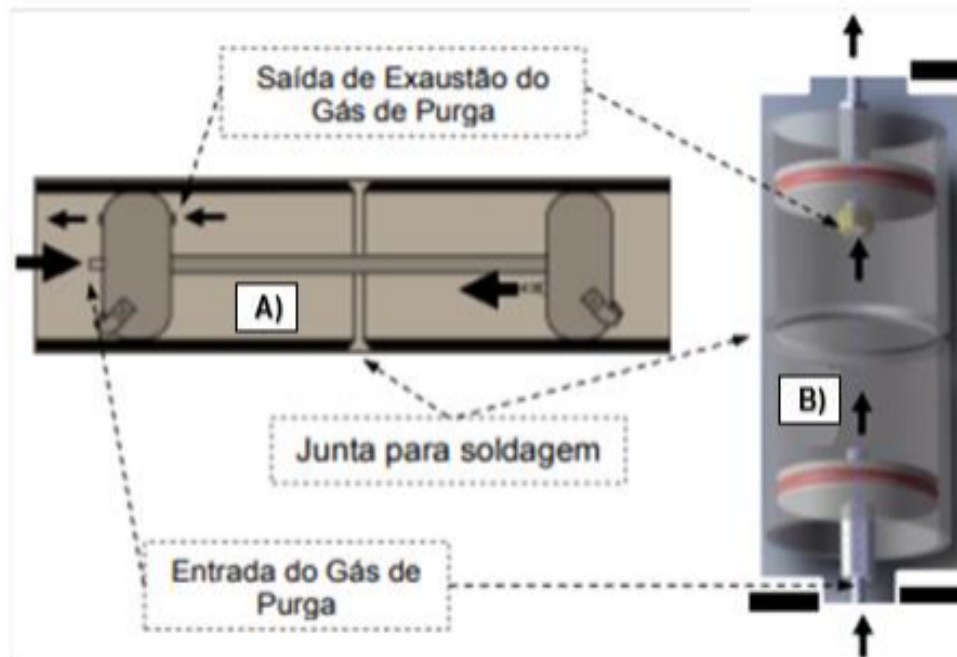
A utilização do sistema de purga consiste na formação de uma atmosfera controlada, para isso deve se utilizar um dispositivo ou a própria peça de modo a formar uma câmara em torno da área soldada. Esse dispositivo deve estar centralizado na região de solda e deve conter apenas uma entrada para o gás e uma saída. O gás injetado deverá abranger toda a área do dispositivo e empurrar o ar atmosférico para a saída. A pressão interna não deve ser elevada (GALDINO, 2014).

Alguns cuidados devem ser observados, a fim de evitar a formação de óxidos, o gás de purga deve ter a vazão mantida por um tempo após terminada a soldagem, até a temperatura na junta ser inferior a 320°C.

O gás deve ser utilizado com velocidade de injeção suficiente para o fluxo retirar as impurezas no interior da câmara. O fluxo não deve ser muito elevado pois pode ocasionar turbulência que pode interferir na qualidade da solda, em contrapartida o fluxo não pode ser muito baixo para não permitir o retorno do oxigênio (GALDINO, 2014).

A figura 6 apresenta modelos de instalação de sistemas de purga. Na Figura 6 no elemento (A) bexigas infláveis são utilizadas. No item (B) tem-se discos de anéis emborrachados para assim possibilitar uma vedação da região de interesse.

Figura 6 - Representação de uma unidade de purga.



Fonte Galdino, 2014.

Para utilização do gás de purga, o gás escolhido deve ser inerte para não reagir ao metal base, mais denso que o oxigênio, dessa forma ele empurrará o ar da região purgada. Outro fator a ser considerado é o custo do gás.

2.4.1 Argônio

O Argônio é um gás inodoro, incolor e inerte, mais pesado que o ar e o Hélio. Encontrado em pequena concentração no ar atmosférico.

De acordo a norma AWS - D10.11M/D10.11 (2007), o argônio é um gás bastante utilizado como gás de purga, onde se busca eliminar do ambiente interno impurezas, não possuindo restrições no emprego com diversos materiais (GALDINO, 2014).

O Argônio é utilizado para soldagem de materiais não ferrosos, pois apresenta baixíssimo potencial de oxidação, possui elevado teor de pureza, sendo denominado comercialmente como puro possuindo 99,99% de pureza (BORGES, 2019).

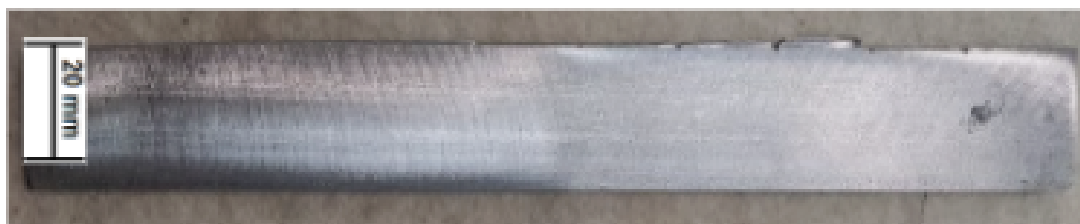
3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

3.1.1 Metal Base

O metal base empregado no decorrer do presente trabalho foi o aço inoxidável AISI 304 austenítico. Material este obtido em forma de retalhos de chapas de espessura 3,0 mm com largura de 50 mm e 250 mm de comprimento. O corpo de prova preparado que foi utilizado pode ser observado na Figura 7.

Figura 7 - Amostra aço inox 304.



Fonte: Autoria própria.

3.1.2 Metal de Adição

O metal de adição foi escolhido com base na literatura e seguindo a norma AWS 5.9 foi o ER 308L de 1,6 mm com 1,0 M de comprimento. A Tabela 7 a seguir apresenta a composição química da vareta escolhida.

Tabela 7 -Composição química vareta ER 308L.

Mo	Cu	C	Cr	Ni	Si	Mn
<0,30	<0,30	<0,03	20,30	10,00	0,50	1,80

Fonte: Catálogo Esab.

3.1.3 Eletrodo

O eletrodo selecionado para uso foi o EWLa 1,5, eletrodo ponta dourada com 1,5% de Lantânio e com 2,4 mm de diâmetro.

A afiação do eletrodo foi feita no rebolo de um moto esmeril de modo a confeccionar ranhuras longitudinais, para garantir maior estabilidade do arco elétrico, formando uma ponta angular de 45°.

3.1.4 Gás de Proteção e Gás de Purga

Foi utilizado um gás inerte conforme indicação da literatura, sendo escolhido o gás Argônio com 99,99% de pureza. Empregado no processo de soldagem com vazão de 5L/min.

Para realizar a purga é necessário remover do espaço confinado entre dispositivo e a parte inferior do corpo de prova o ar ambiente presente nessa região, para isso é recomendado o uso de gás inerte, foi empregado o mesmo gás argônio também utilizado como gás de proteção. Para controle da vazão do gás de purga foi utilizado fluxômetro instalado na rede de gás argônio.

3.2 Métodos

3.2.1 Dispositivo para injeção do gás de purga

O dispositivo foi cedido pelo professor orientador Fábio Martins, usinado em latão, com um canal para passagem do gás de purga. O dispositivo possui uma entrada e uma saída para o gás de purga. A peça foi fixada pelos parafusos com auxílio de uma chapa em alumínio.

A Figura 8 apresenta o dispositivo usado para realização dos experimentos.

Figura 8 - Dispositivo de solda.



Fonte: Prof Fábio Martins.

3.2.2 Preparação das chapas

Foram preparadas 24 amostras para realização de 12 experimentos. Cada chapa foi cortada com 210 mm de comprimento e 20 mm de largura para encaixar no dispositivo de purga. As chapas foram cortadas com lixadeira manual. Não foi feito chanfro nas amostras devido a espessura.

3.2.3 Soldagem das chapas

A junta soldada nos corpos de prova foi a junta de topo. Antes de iniciar a soldagem no dispositivo os pares de chapas foram unidos por três pontos de solda um em cada extremidade e um no meio para melhor união das mesmas. E assim dessa maneira garantir que não houvesse alteração na largura da raiz com deslocamento de um dos corpos de prova.

Para soldagem das chapas foi utilizado uma máquina inversora REHM que possui sistema de alta frequência, sistema esse que permite a abertura do arco sem precisar o eletrodo entrar em contato com a peça. A máquina foi regulada para uso com pré e pós gás. A máquina inversora foi configurada com a corrente de 75 A. A Figura 9 abaixo ilustra a máquina de solda TIG utilizada durante os experimentos.

Figura 9 - Inversora TIG.



Fonte: Autoria própria.

Com o objetivo de avaliar a vazão do gás de purga, foram definidas quatro condições de vazão para se avaliar. A primeira condição sem purga, a segunda com vazão de 8 l/min a terceira com 12 l/min e a última com 16 l/min. Para cada um das quatro condições de soldagem analisadas neste experimento, foram realizadas três repetições para dessa forma obter uma repetibilidade dos resultados podendo inclusive descartar um dos resultados em caso de falhas no processo experimental.

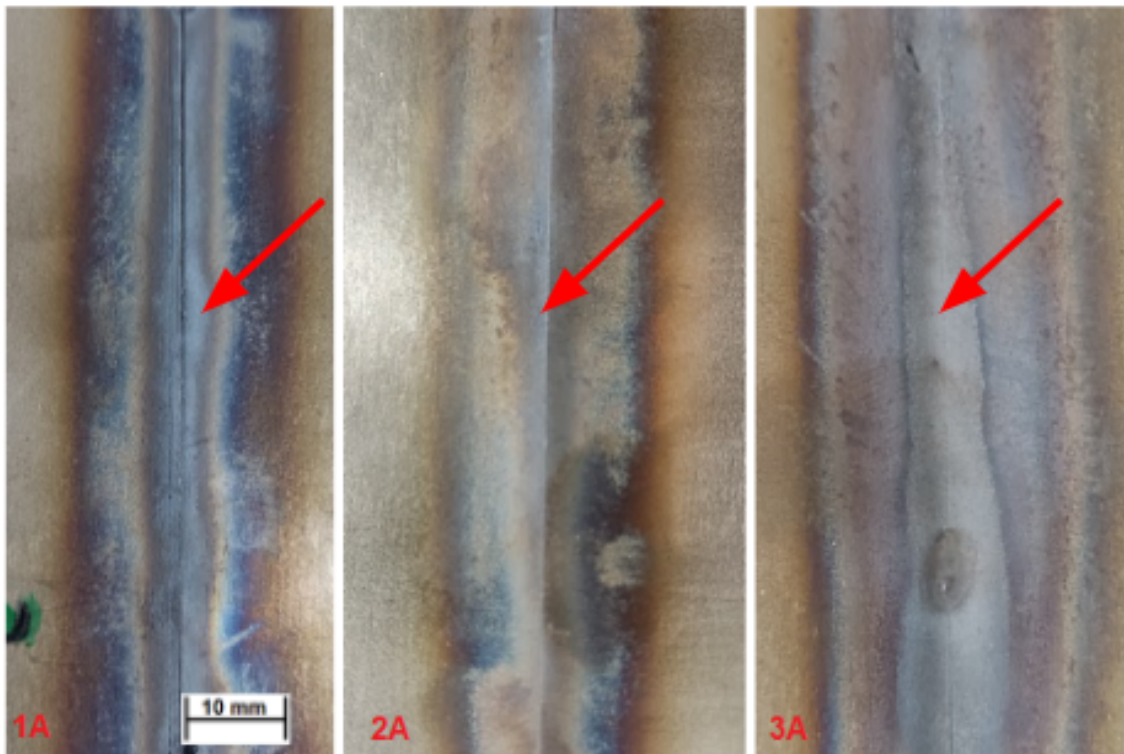
.Além da análise com relação a vazão da purga foi demarcado em cada amostra três secções iguais para tomada de tempo de solda e posterior avaliação visual do cordão de solda. E desse modo poder avaliar parâmetros empregados no processo de soldagem. Para cada experimento após o posicionamento e fixação da chapa no dispositivo foi aberto o gás 20 segundos antes de iniciar a solda e fechado 20 segundos depois do fim da solda do cordão. Os experimentos foram realizados pelo mesmo soldador.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Análise da Oxidação

Na Figura 10 são apresentadas as raízes das soldas das amostras do experimento realizado sem a presença do gás de purga. Pode-se perceber que o resultado foi conforme esperado com presença da oxidação na raiz da junta, indicado pelas setas vermelhas. Na zona termicamente afetada pelo calor o metal base reagiu com o oxigênio presente no ar ambiente e formam óxidos precipitando a oxidação da região.

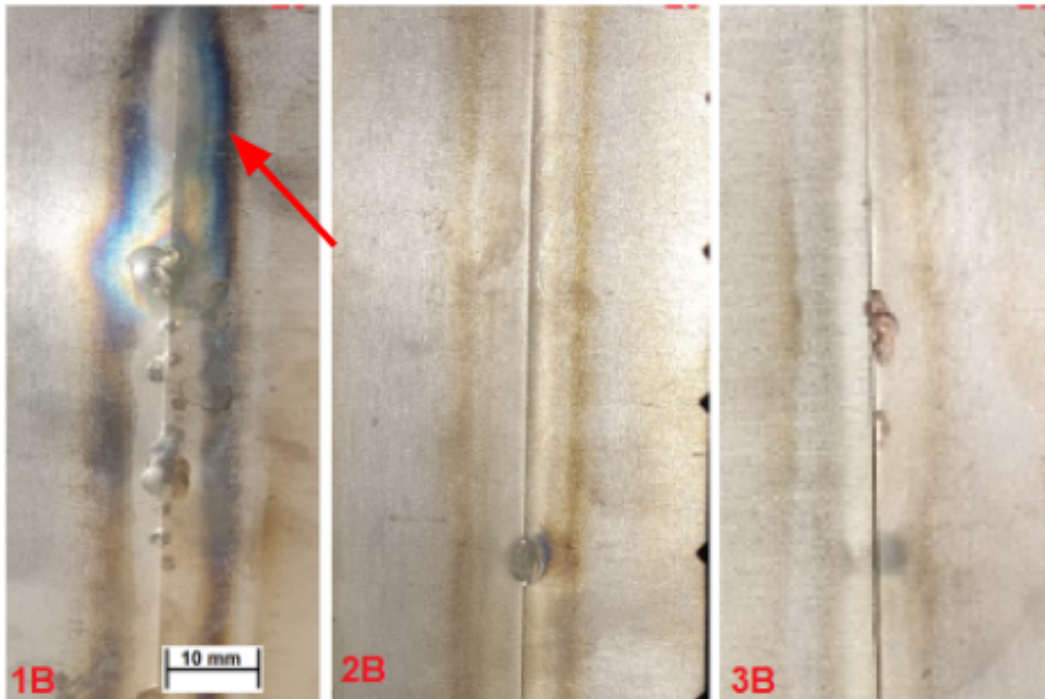
Figura 10 - Raiz da junta soldada sem gás de purga. 1A primeiro experimento, 2A segundo experimento e 3A terceiro experimento para essa condição sem purga.



Fonte: Autoria própria.

A amostra representada na Figura 10 3A inicialmente havia sido planejada para ser executada com a presença de gás de purga com vazão de 8 l/min, porém devido a falta de fixação completa da amostra no dispositivo o empenamento da chapa ampliou o espaço entre dispositivo e corpo de prova e resultou na fuga do gás de purga possibilitando que o ar ambiente permanecesse no local de interesse, por isso esse experimento teve resultado similar aos demais experimentos realizados sem vazão de purga.

Figura 11 - Raiz da junta soldada com vazão de 8 l/min. de gás de purga. 1B primeiro experimento, 2B segundo experimento e 3B terceiro experimento para essa condição purga.

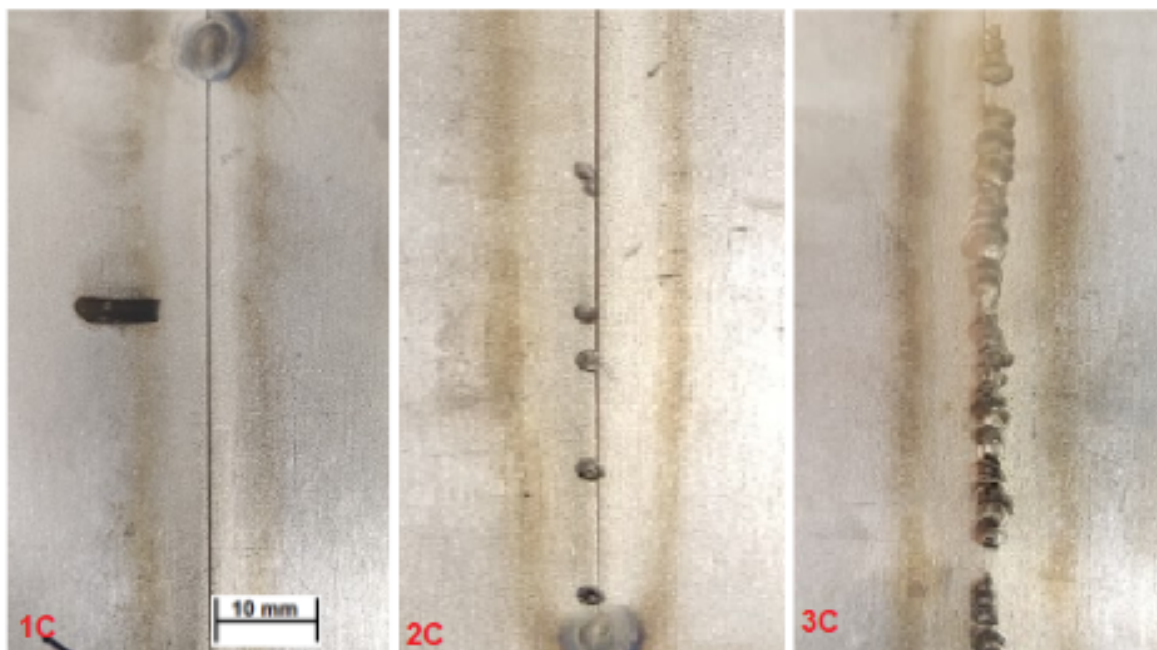


Fonte: Autoria própria.

Na Figura 11 acima são apresentadas as raízes das soldas das amostras do experimento realizado com vazão de gás de 8 l/min do gás de purga. O resultado foi satisfatório pois não apresentou uma oxidação na raiz exceto na amostra 1B.

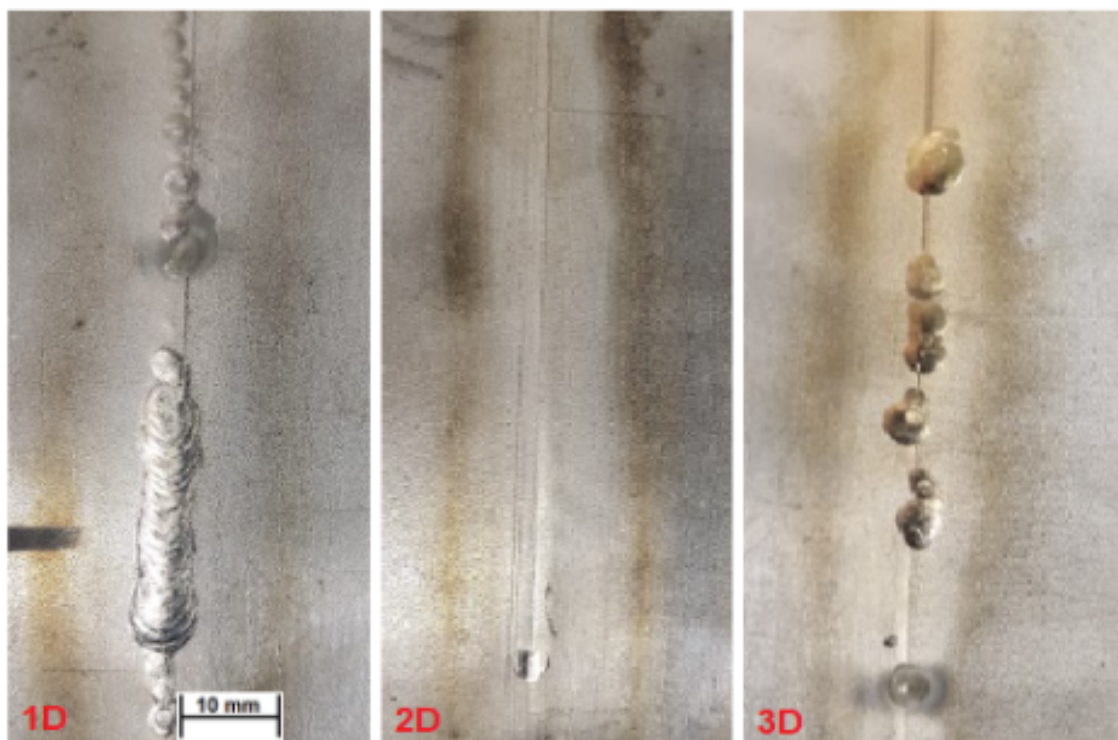
A amostra representada na Figura 11 1B foi a primeira amostra a ser realizada com vazão de gás de purga. Foi verificado um vazamento do gás de purga devido a uma má fixação da extremidade do corpo de prova ao dispositivo, o que acarretou na oxidação de uma parte do corpo de prova pela falta de proteção local.

Figura 12 - Raiz da junta soldada com vazão de 12 l/min. de gás de purga. 1C primeiro experimento, 2C segundo experimento e 3C terceiro experimento para essa condição.



Fonte: Autoria própria.

Figura 13 - Raiz da junta soldada com vazão de 16l/min. de gás de purga. 1D primeiro experimento, 2D segundo experimento e 3D terceiro experimento para essa condição.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 12 apresenta as amostras dos experimentos com vazão de gás de purga de 12 l/min. Já na Figura 13 são apresentadas as amostras dos experimentos com vazão de gás de purga de 16 l/min. As chapas soldadas para as duas condições resultaram em raiz de solda sem a presença de oxidação aparente.

Em todas as amostras analisadas o local onde foi ponteadado as chapas apresenta um princípio de oxidação devido a falta de proteção no momento da operação de ponteamto. Somado a isso no início e no final do cordão de solda devido a geometria do dispositivo a raiz ficou desprotegida iniciando a oxidação.

4.2 Análise Visual do Cordão de Solda

Em cada amostra foram demarcadas três seções de 70 mm, para tomar o tempo de cada trecho.

Tabela 8 - Tempo de solda nas três seções da amostra.

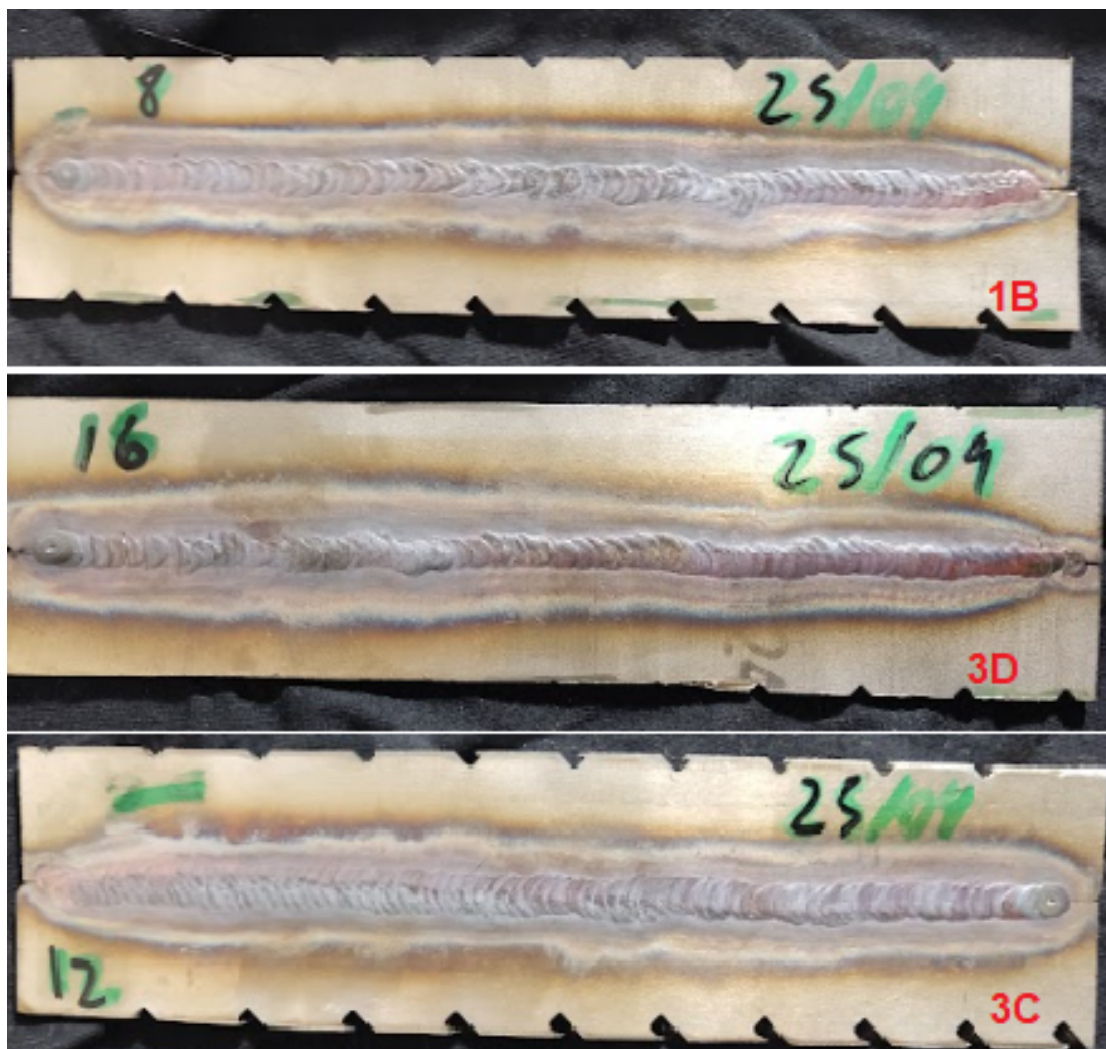
Amostra	Vazão (l/min)	T1 (s)	T2 (s)	T3 (s)	Total (min)
1A	0	37	51	54	02:21
2A	0	35	50	52	02:17
3A	0	45	58	57	02:40
1B	8	54	60	55	02:49
2B	8	44	61	52	02:37
3B	8	45	55	59	02:39
1C	12	52	55	53	02:40
2C	12	51	59	62	02:21
3C	12	66	70	69	03:25
1D	16	61	75	64	03:20
2D	16	50	65	55	02:50
3D	16	56	67	65	03:08

Fonte: Autoria própria.

A tabela acima nos apresenta os tempos de solda para cada trecho da peça. O trecho 2 no geral foi o que apresentou maior tempo de solda, seguido do trecho final. Isso é visível ao analisarmos as amostras onde os trechos de maior penetração da solda foram os que apresentaram maior tempo de solda. Ao comparar a amostra 3C da Figura 12 com a amostra 2D da Figura 13 é verificado que o tempo maior de solda resultou numa maior penetração do cordão, pois uma velocidade menor possibilitou uma fusão maior do metal de adição.

Um fator que influenciou a variação da velocidade de soldagem foi a realização dos experimentos em diferentes dias, mesmo sendo realizado pelo mesmo colaborador.

Figura 14 - Cordão de solda. Amostra 1B, 3D e 3C.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 14 mostra o cordão feito nas chapas, a primeira amostra 1B soldada com 2:49 min e teve variação de 6 segundos entre o trecho mais rápido e o mais lento, a amostra 3D com tempo de 3:08 min teve variação de 11 segundos entre os trechos e a terceira amostra a 3C com tempo de 3:25 min. teve variação de apenas 4 segundos. Sendo assim na Figura 14 é possível verificar que a amostra 3C por ter uma regularidade na velocidade da soldagem apresentou um cordão com melhor aspecto visual comparado às outras amostras.

5 CONCLUSÃO

Após análise dos resultados obtidos com os experimentos, foi possível concluir que o uso do gás de purga inibiu o aparecimento de oxidação na raiz da junta soldada conforme previsto na literatura. O experimento quando realizado sem purga a oxidação da raiz foi visível. Já nos experimentos com uma vazão de 8 l/min já foi possível atingir o objetivo de proteção da raiz, pois as raízes das amostras não apresentaram aspecto oxidado, os experimentos com as vazões de 12 l/min e 16 l/min corroboraram ainda mais com esse resultado. Devido ao custo benefício a vazão de 8 l/min já é suficiente para proteção nas condições estudadas.

Para soldagem de peças em aço inoxidável em que se faz necessário um controle contra oxidação a utilização de purga deve ser considerada como uma solução prática. Para isso, o uso de dispositivos adequados à geometria da peça são fundamentais para purgar corretamente a raiz da peça, pois o dispositivo e a peça devem estar fixados corretamente para que o gás de purga não escape do local antes de eliminar o ar ambiente. Para não acontecer o que foi verificado na amostra 3A da figura 9 onde a peça não foi presa corretamente e o Argônio da purga escapou pela lateral do dispositivo. Segundo, o uso do pré e pós gás são importantes para que o início e o fim da solda estejam completamente protegidos. Por fim, a afiação correta do eletrodo, observando o sentido das ranhuras e o ângulo mais adequado ao processo é fundamental para a qualidade da solda.

Para demais peças em que o espaço a ser preenchido pelo gás de purga for muito diferente dos experimentos realizados, 8l/min pode não ser suficiente para atingir um resultado satisfatório de proteção, pois necessitará de uma maior vazão de gás de purga.

Sobre a velocidade da solda pode se concluir que, conforme a velocidade diminuiu, a penetração da solda foi maior devido a um maior tempo para fusão da região soldada. E conforme a velocidade se manteve regular ao longo da solda, o cordão de solda apresentou aspecto muito mais uniforme. A soldagem por ser realizada de forma manual pode variar de acordo com quem a executa, por isso a automação do processo deve ser considerada.

REFERÊNCIAS

ABINOX – Associação Brasileira do Aço Inoxidável. **Aço Inox, Alimentos e Bebidas**. Disponível em:

<<https://www.abinox.org.br/site/aco-inox-alimentos-e-bebidas.php>> Acesso em 02 out 2021.

ARCELORMITTAL. **Aços inoxidáveis: aplicações e especificações**. 2008. Elaborado por: Eng. Héctor Mario Carbó. Disponível em: <<http://guides.com.br/home/wp-content/uploads/2011/12/inonx-apost-tec.pdf>> . Acesso em: 05 out 2021.

AWS, American Welding Society D10.4, "**Recommended practices for welding austenitic chromium-nickel stainless steel piping and tubing**". Abril de 1986.

BORGES, Thiago Lino. **ESTUDO DO USO DE ATMOSFERA DE PROTEÇÃO INTERNA EM TUBOS DE AÇO INOXIDÁVEL AISI 304L NO PROCESSO DE SOLDAGEM TIG** 2019. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica – Instituto Federal de Santa Catarina, Jaraguá do Sul, 2019. Acesso em 09 mai 2022.

BRANDÃO, José Eduardo S. A. **Tecnologia da Soldagem**. 2021. Acesso em 25 abr 2022.

BRASIL. ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº20, de 22 de março de 2007. "**Regulamento Técnico sobre Disposições para Embalagens, Revestimentos, Utensílios, Tampas e Equipamentos Metálicos em Contato com Alimentos**". <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/resolucao-rdc-no-20-de-22-de-marco-de-2007.pdf>> . Acesso em: 08 out 2021.

BRUNATTO, Silvio Francisco. **Introdução ao Estudo dos Aços**, 2016. Acesso em 20 out 2021..

CALLISTER JR, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2020. Acesso em 16 out 2021.

CHIAVERINI, Vicente. **Aços e Ferros Fundidos**. 7. ed. São Paulo: Abm, 1998. 599 p.

ESAB. **Processo de Soldagem - TIG (GTAW)**. Disponível em: <https://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/processo_soldagem_tig_gtaw.cfm> . Acesso em: 15 abr 2022.

ESAB **Catalog. 2018**. Disponível em: <<https://www.esab.com.br/br/pt/products/filler-metals/tig-rods-gtaw/stainless-steel-rods/ok-tigrod-308l.cfm>>. Acesso em: 23 mar 2022.

GALDINO, Laécio Gomes. **INFLUÊNCIA DO GÁS DE PURGA NA FORMAÇÃO DA RAIZ DO CORDÃO DE SOLDA EM TUBOS DE AÇO INOXIDÁVEL AISI 304**. 2014. 175 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014. Acesso em: 04 mai. 2022.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4ª Edição. Editora Atlas S.A, 2002. Acesso em 05 nov 2021.

MACHADO, Ivan Guerra. **Soldagem e Técnicas Conexas: Processos**. 1. ed. Porto Alegre: 1996. 477 p. Acesso em 31 mai 2022.

MARQUES, Paulo Villani; MODENESI, Paulo José; BRACARENSE, Alexandre Queiroz. **Soldagem: fundamentos e tecnologia**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2009. 363 p. Acesso em 27 mai 2022.

MODENESI, Paulo J. **Soldabilidade Dos Aços Inoxidáveis**. São Paulo: Senai-SP, 2001. 100 p. Acesso em 17 out 2021.

PÓVOA, Paulo Victor Nogueira. **Aço inoxidável como material para equipamentos da indústria de alimentos**. 2017. 38 f. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. Acesso em 12 out 2021.

SANTOS, Carlos Eduardo Figueiredo dos. **Processos de Soldagem: conceitos, equipamentos e normas de segurança**. São Paulo: Érica, 2015. 152 p. Acesso em 20 out 2021.

SEBRAE. **Orientações de boas práticas na panificação e confeitaria – da produção ao ponto de venda**. 2015: Acesso em 01 out. 2021.

SOUSA JÚNIOR, E.; LONGHINI, T.; COSTA, H. **Análise da variabilidade na produção de pães em uma pequena padaria com o auxílio do controle**

estatístico da qualidade. Revista Gestão Industrial, Ponta Grossa, v. 13, n.4, p. 223-245, out/dez. 2017. Acesso em 03 out 2021.

SUNAMOTO, Diogo; SANTOS, Carlos; SARNI, Edmilson; BOVERIO, Maria; SARNI, Miriam. **Análise da influência do ângulo de afiação do eletrodo de Tungstênio na penetração do cordão de solda no processo TIG.** 2019. 11p. Acesso em 04 abr 2022.

WAINER, Emílio; BRANDI, Sérgio Duarte; MELLO, Fábio Décourt Homem de. **Soldagem: processos e metalurgia.** 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1992. 494 p. Acesso em 04 out 2021.