

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**

**Kaíque Barreto dos Santos**

**FUNDAMENTOS DA SOLDAGEM A PLASMA  
(PAW)**

**Taubaté – SP**

**2017**

**Kaíque Barreto dos Santos**

**FUNDAMENTOS DA SOLDAGEM A PLASMA (PAW)**

Trabalho de graduação apresentada  
para obtenção do Certificado de  
Graduação em Engenharia Mecânica  
do Departamento de Engenharia  
Mecânica da Universidade de Taubaté.  
Área de Concentração: Engenharia  
Mecânica  
Orientador: Prof. Msc Fabio Henrique  
Fonseca Santejani.

**Taubaté – SP**

**2017**

**Ficha Catalográfica elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado**

**de Bibliotecas / UNITAU - Biblioteca das Engenharias**

S237

Santos, Kaíque Barreto dos  
Fundamentos da soldagem a plasma (PAW). /  
Kaíque Barreto dos Santos. - 2017.

43f. : il; 30 cm.

Monografia (Graduação em Engenharia  
Mecânica) – Universidade de Taubaté. Departamento de  
Engenharia Mecânica e Elétrica, 2017

Orientador: Prof.Me. Fábio Henrique Fonseca  
Sertejani, Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica.

1. PAW. 2. Arco elétrico constritor. 3.  
Soldagem. I. Título.

**Kaíque Barreto dos Santos**

**FUNDAMENTOS DA SOLDAGEM A PLASMA (PAW)**

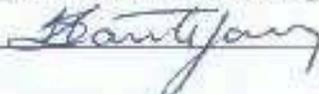
Trabalho de graduação apresentada para obtenção do Certificado de Graduação em Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté. Área de Concentração: Engenharia Mecânica

Data: 17/11/2017

Resultado: APROVADO

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. MSc FÁBIO H. F. SANTEJANI - UNITAU

Assinatura: 

Prof. MSc IVAIR ALVES DOS SANTOS - UNITAU

Assinatura: 

*Dedico este trabalho a Deus, pois toda honra e toda glória seja dada a ti meu Senhor. Dedico também a minha mãe, meu irmão e a minha mulher, todos meus esforços são em prol dos mesmos.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por me dar forças e me manter motivado a buscar sempre o melhor caminho. Agradeço também à senhora minha mãe Elda Barreto por todos seus esforços e por batalhar com unhas e dentes para dar o melhor para mim e meu irmão, por me dar a educação que tenho e por me fazer o homem que sou. Agradeço a minha mulher Ana Carolina por sempre me manter motivado mesmo nos piores momentos, até mesmo quando penso em desistir de tudo, suas palavras e atitudes foram de muito valor.

Agradeço muito aos meus orientadores Prof. Msc Fábio Santejani e Prof. Msc Ivair Santos, que me acompanham há alguns anos e me passaram um pouco de seus conhecimentos e experiências para que eu e meus colegas tivéssemos grande aprendizado nessa caminhada para a nossa graduação.

Por fim agradeço aos meus colegas de classe e aos outros professores que nesses anos nos fizeram engenheiros.

*“Ó SENHOR, tua é a grandeza, o poder, a glória, a vitória e a majestade, porque tudo quanto há no céu e na terra a ti pertence. Ó SENHOR, o reino é teu, e tu governas soberano sobre tudo e todos!” Crônicas 29:11,12.*

## RESUMO

O presente trabalho abordará assuntos como o princípio de funcionamento do processo de soldagem a plasma, os equipamentos utilizados, os modos operantes, os tipos de materiais soldáveis, consumíveis necessários, suas juntas e os principais parâmetros na soldagem a plasma. Também conhecido como PAW (Plasma Arc Welding) o processo de soldagem a plasma é um processo de soldagem a arco elétrico que produz a fusão dos metais, pelo aquecimento com um arco elétrico entre o eletrodo não consumível e a peça de trabalho. No processo PAW existem dois fluxos de gás separados, o gás plasma que flui à volta do eletrodo de tungstênio não consumível, formando o núcleo do arco plasma e um gás de proteção que evita a contaminação do banho em fusão. Este é um processo muito similar ao TIG, basicamente trata-se de um desenvolvimento da soldagem TIG visando uma produtividade maior.

**Palavras-chave:** PAW; arco elétrico constritor; soldagem.

## **ABSTRACT**

The present work will cover topics such as the principle of operation of the plasma welding process, the equipment used, operating modes, types of weldable materials, consumables required, their joints and the main parameters in plasma welding. Also known as PAW (Plasma Arc Welding) the plasma welding process is an arc welding process that produces the melting of metals by heating with an electric arc between the non-consumable electrode and the workpiece. In the PAW process there are two separate gas streams, the plasma gas flowing around the non-consumable tungsten electrode, forming the plasma arc core and a shielding gas that prevents contamination of the melt bath. This is a very similar process to TIG, basically it is a development of the TIG welding aiming for a greater productivity.

**Keywords:** PAW; electric arc constrictor; welding.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação esquemática da soldagem a arco plasma .....	18
Figura 2 - Comparação entre o processo TIG e o processo PAW.....	20
Figura 3 – Modos operacionais soldagem PAW.....	21
Figura 4 - Sequência de ignição do arco principal por meio de arco-piloto.....	23
Figura 5 - Taxas de deposição para soldagem com adição de material. Arame quente com e sem oscilação e Arame frio.....	30
Figura 6 - Configuração de juntas na soldagem PAW.....	31
Figura 7 - Tipos e configurações mais indicadas para soldagem Plasma.....	32
Figura 8 - Fonte de energia.....	33
Figura 9 - Tocha manual (cima), tocha mecanizada (baixo).....	34

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Seleção de gases a serem utilizados no PAW.....	25
Tabela 2 - Seleção dos gases de proteção para PAW.....	26
Tabela 3 - Especificação de eletrodos de tungstênio.....	27
Tabela 4 - Especificação de eletrodos de tungstênio.....	27
Tabela 5 - Especificação AWS de metais de adição (PAW).....	28

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AWS	American Welding Society
ASME	- The American Society of Mechanical Engineers
PAW	- Plasm Arc Welding
ANSI	- American National Standards Institute
ISO	- International Organization for Standardization
TWI	- The Welding Institute
TIG	- Tungsten Inert Gas
GMAW	- Gas Metal Arc Welding
CEF	- Característica Estática de Fonte
K	- Kelvin

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	14
1.1 OBJETIVOS .....	15
1.1.1 Objetivo Geral .....	15
1.1.2 Objetivos Específicos .....	15
1.1.3 Justificativa.....	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1 Definições de soldagem .....	16
2.2 Soldagem a plasma (PAW) .....	17
2.3 Comparação entre o PAW e o processo TIG .....	19
2.4 Modos operacionais de soldagem.....	20
2.4.1 Melt-in.....	21
2.4.2 Keyhole.....	22
2.4.3 Microplasma.....	22
2.5 Aberturas do arco .....	22
2.6 Consumíveis.....	24
2.6.1 Gás de plasma .....	24
2.6.2 Gás de proteção.....	25
2.6.3 Gás de purga e de proteção adicional.....	26
2.6.4 Eletrodo de tungstênio.....	26
2.6.5 Metais de adição .....	27
2.7 Materiais e juntas do processo PAW .....	28
2.7.1 Materiais base .....	28
2.7.2 Materiais de enchimento .....	29
2.7.3 Juntas no processo PAW .....	30
2.8 Equipamentos para o processo PAW.....	32
2.8.1 Fontes de energia .....	32
2.8.2 Módulo de controle plasma .....	33
2.8.3 Tocha de soldagem.....	34
2.8.4 Alimentadores de arame .....	34
2.8.5 Reguladores ou monitores de vazão de gás .....	35
2.9 Aplicações da Soldagem Plasma .....	35
3 Metodologia.....	37
3.1 Tipo de pesquisa .....	37

3.2 Fontes Publicadas.....	37
3.3 Base de Dados.....	38
3.4 Seleção de Fontes .....	38
3.5 Análise e Interpretações.....	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	39
5 CONCLUSÃO.....	40
REFERÊNCIAS.....	41

## 1 INTRODUÇÃO

O crescente número de pesquisas e estudos de tecnologias novas na área de processos de soldagem indica que, a soldagem plasma é um processo bastante promissor para aplicações onde se buscam uma elevada produtividade e qualidade da solda, comparativamente com os processos MIG/MAG e TIG. Um dos motivos é que o processo possibilita obter uma penetração total da solda em um único passe, em chapas já consideradas espessas, e sem a necessidade de preparação da junta com chanfro em V ou em U. Entretanto, este processo carece ainda de maiores informações, tanto tecnológicas, quanto operacionais.

A AWS (American Welding Society) define soldagem como: “ Processo de união de materiais usados para obter a coalescência localizada de metais e não-metais, produzida por aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem a utilização de pressão e/ou material de adição”.

Segundo Houldcroft (1979) existem determinações para os processos de soldagem. A energia tem que ser suficiente para que haja a união dos componentes, as superfícies devem estar sempre limpas, isenta de contaminações, ter a proteção necessária da peça de fusão do meio atmosférico, e monitorar as transformações de fases, para que mantenham-se as propriedades químicas e físicas desejadas.

Com a necessidade de utilizar novos materiais e o aumento da exigência de boa qualidade para cobrir a necessidade de melhorar a produção e flexibilizar os processos de fabricação. Nesta busca encontramos o PAW que não é uma invenção dos dias atuais, mas é considerado um processo avançado de soldagem.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho é familiarizar o leitor com os principais conceitos e características da “soldagem a plasma (PAW)”, mostrando de um modo geral a funcionalidade do processo.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

Como objetivo específico pretende-se analisar mais detalhadamente as características do desempenho da “soldagem a plasma (PAW)”, de modo que se possam ter parâmetros bem definidos que permitam a comparação com o que se pretende realizar na Indústria.

Outro objetivo específico é contribuir para a geração de conceitos e esclarecimentos a respeito desta área de conhecimento que se revela bastante inovadora, a soldagem a plasma (PAW).

### **1.1.3 Justificativa**

O tema foi escolhido pela sua importância nos dias atuais no cenário mundial de fabricação, com a evolução dos processos de soldagem, a PAW se destaca por sua alta confiabilidade.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Definições de soldagem**

Segundo Brandi (1992) são muitos e diferentes processos utilizados na recuperação e fabricação de peças, estruturas e equipamentos, abrangidos pelo termo soldagem, a classificação dos processos de soldagem são devidos ao tipo natureza de união e de fonte de energia.

Ainda segundo Brandi (1992) soldagem é considerada um método de união, porém, muitos processos de soldagem ou variações destes são usados para a deposição de material sobre uma superfície, visando recuperação de peças desgastadas ou para a formação de um revestimento com características especiais. Diferentes processos relacionados com os de soldagem são utilizados para o corte ou para o recobrimento de peças. A soldagem permaneceu como um processo secundário de fabricação até o século XIX, quando a sua tecnologia mudou radicalmente, principalmente, a partir das experiências de Sir Humphrey Davy (1801-1806) com o arco elétrico, a descoberta do acetileno por Edmund Davy e o desenvolvimento de novas fontes de energia elétrica que possibilitaram o começo dos processos de soldagem por fusão.

Brandi (1992) cita que primeira patente de um processo de soldagem, foi obtida na Inglaterra por Nikolas Bernados e Stanislav Olszewsky em 1885, baseada em um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo de carvão e uma peça.

De acordo com Marques, Modenesi e Bracarense (2009) atualmente, mais de 50 processos são utilizados na indústria e a soldagem é o mais importante método para a união permanente de metais. A importância da soldagem nos dias atuais é ainda mais evidenciada pela presença nas mais diferentes atividades industriais e pela influência que a necessidade de uma boa soldabilidade tem no desenvolvimento de outras ligas metálicas e novos tipos de aços.

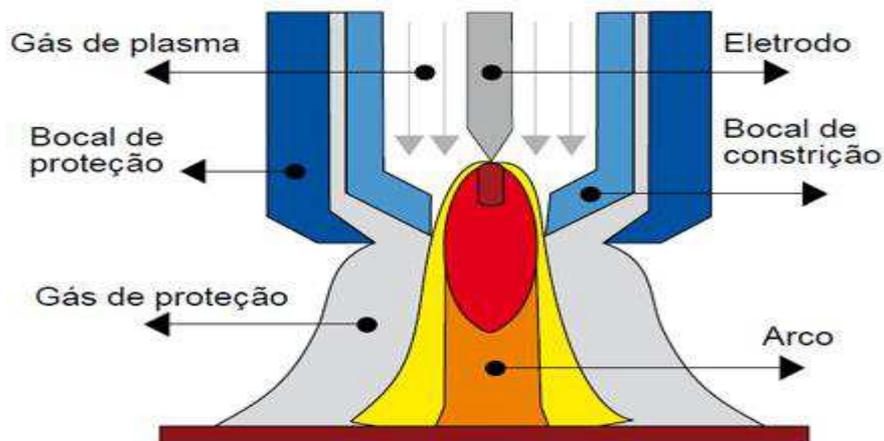
## 2.2 Soldagem a plasma (PAW)

De acordo com o Welding Handbook (1991) PAW – “*Plasma Arc Welding*”. O processo de soldagem plasma é um processo considerado uma atualização ou evolução do processo TIG. Nos dois processos são utilizados uma proteção do arco voltaico com gás inerte contra a contaminação atmosférica e um eletrodo não consumível. A maior diferença entre eles é que na soldagem plasma o eletrodo fica confinado, assumindo forma cilíndrica.

Segundo Reis e Scotti (2007) a PAW é definida como um gás que esteja aquecido suficientemente tornando-se ionizado, íons e elétrons livres em equilíbrio. O gás quando no estado plasma conduz corrente elétrica deixando de ser um isolante.

Reis e Scotti (2007) relata que um fator de grande importância é o grau de ionização do gás, quanto maior este grau de ionização, maior será a energia consumida para o trabalho, também será maior a temperatura do plasma ficando entre 1000 a 30000K. O plasma não é formado só de íons e elétrons livres, mas também de vapores metálicos, o volume do arco também é formado por átomos gasosos, que não são ionizáveis. No processo PAW é possível obter altas taxas de intensidade de corrente, devido à baixa resistividade elétrica, quanto mais alta a temperatura, menor a resistividade elétrica. Isso faz com que seja gerado calor suficiente para a fusão dos materiais. Devido à geometria cilíndrica interna da tocha, a velocidade do processo é alta e também o arco fica altamente concentrado, denominado arco-plasma. Na Figura 1 podemos ver a representação esquemática da PAW.

Figura 1 - Representação esquemática da soldagem a arco plasma



Fonte: Portal Metálica (2017)

De acordo com Brandi (1992) a união dos materiais é feita através do arco que está constrito. O arco-plasma é obtido por uma coluna de gás (gás de plasma), que ao ser aquecido pelo arco elétrico, faz com que haja choques entre essas moléculas de gás, gerando a dissociação e ionização, resultando na transformação do plasma.

Ainda segundo Reis e Scotti (2007) a pressão do gás e o efeito da expansão térmica na região do arco dentro da cavidade, resulta na evacuação do plasma pela tocha, por esse orifício constritor, a altíssimas velocidades, chegando a atingir níveis supersônicos.

Rela (1992) cita que a proteção da peça de fusão é feita de maneira relativa com o gás ionizado a alta temperatura, que transcorre pelo bocal de constrição. Um gás de proteção pode ser necessário para proteger a poça de fusão da oxidação do ar, esse gás de proteção pode ser inerte ou uma mistura.

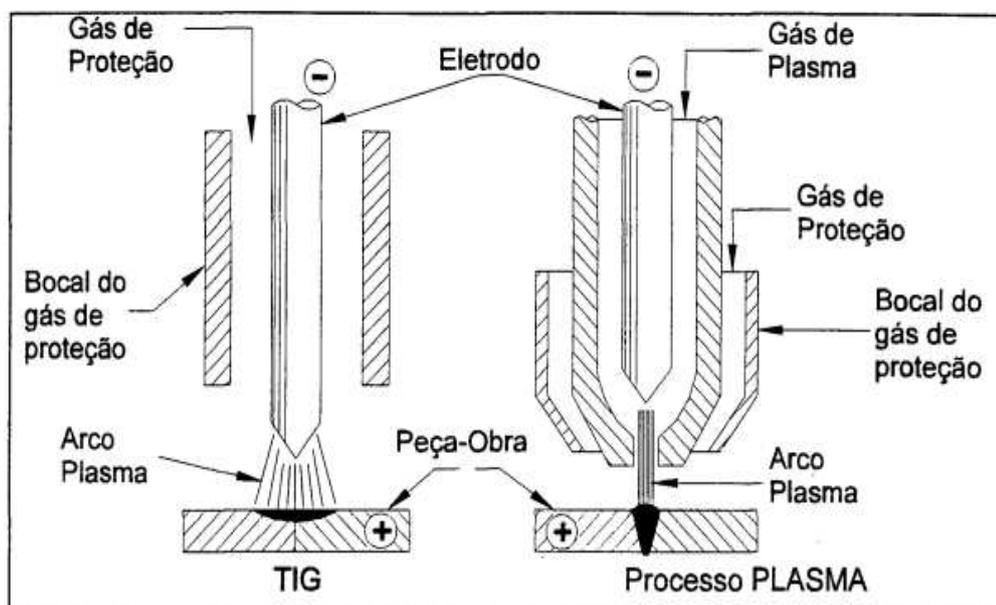
### 2.3 Comparação entre o PAW e o processo TIG

A PAW é um processo muito similar ao TIG. Basicamente trata-se de uma modificação visando uma produtividade aumentada. O processo TIG e o processo de soldagem a plasma são muito parecidos pelo fato de utilizar eletrodos não consumíveis e gases inertes. As diferenças estão no tipo de tocha e na tensão do arco elétrico utilizados, além dos recursos necessários à fonte de energia. É importante notar que os dois processos apresentam regiões com as mesmas temperaturas máximas, no entanto, a constrição do arco origina uma substancial mudança na concentração de calor na superfície da peça, tornando-a mais favorável ao processo de soldagem. (LUCAS, W. 1990).

De acordo com LabSolda (2017), outra diferença está na tocha de soldagem, o eletrodo de tungstênio no processo TIG, fica fora do bocal de gás de proteção, já no PAW o mesmo eletrodo fica para dentro do bocal, por isso não há transferência metálica por curto-circuito no processo PAW, diferentemente do TIG. Outra semelhança entre os processos é que eles utilizam de um sistema de alta tensão em alta frequência, para gerar um ambiente ionizado.

Segundo Luz (2017), o eletrodo de tungstênio no processo TIG, se estende para fora do bocal e é possível que se enxergue o arco, e sua forma cônica, isso faz com que haja uma região aquecida pelo arco. A superfície da área a ser soldada varia com a distância da tocha à peça, sendo assim havendo mudanças no comprimento arco, haverá mudanças na taxa de calor transferida para a peça. Já no PAW, o eletrodo está no interior do bocal de constrição, o arco é apontado e focalizado, e é projetado numa pequena área a ser soldada, essa área quase não varia, se estiver dentro dos limites do comprimento de arco, ainda assim é possível obter um maior comprimento de arco no processo PAW em relação ao TIG, o que permite uma melhor visibilidade para o soldador. Na Figura 2 temos a comparação dos processos.

Figura 2 - Comparação entre os processos TIG e Plasma

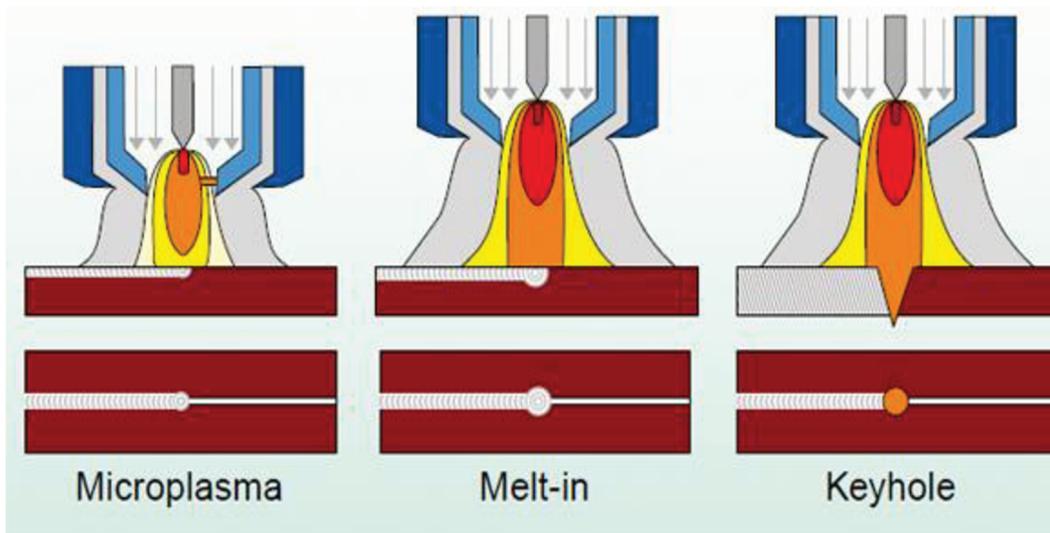


Fonte: Welding Handbook (1991)

Segundo Lucas (1990) a PAW utiliza o arco operando em condições especiais que atua como uma fonte extremamente estável de calor que permite a soldagem da maioria dos metais com espessuras de 0,02 a 6mm. Esta fonte especial de calor garante maior concentração de energia, maior estabilidade e maior capacidade de penetração. Esse processo é baseado no processo TIG, apresentando, como diferença fundamental, a utilização de um bocal extra (bocal constritor) que causa a concentração (constricção) do arco elétrico.

## 2.4 Modos operacionais de soldagem

Existem três técnicas no processo PAW, segundo Rela (1992) são elas, *keyhole*, microplasma e melt-in como podemos ver na Figura 3. Basicamente a espessura do material base é que define qual técnica deve ser utilizada.



Fonte: Portal metálica (2017)

Ainda segundo Relá (1992) na PAW para soldar peças dentro de uma ampla faixa de espessura dois modos bastante distintos são empregados. A opção por um ou outro modo depende basicamente da espessura do material de base. Os dois principais modos ou técnicas que se encontram referenciados na literatura são: *Keyhole* também conhecido como técnica do “buraco de fechadura” e a técnica Melt-in, a soldagem convencional por fusão.

#### 2.4.1 Melt-in

Esta técnica é a soldagem convencional por fusão, segundo Modenesi e Marques (2011), nessa operação são utilizadas faixas de corrente de 15 a 200 A. O gás tem baixa vazão, variando com a faixa de corrente utilizada e o diâmetro do eletrodo, como resultado são obtidos cordões estreitos e de maior penetração.

Reis (2005) cita que neste modo a soldagem é automatizada, e é possível reduzir em até 50% as distorções e obter maiores velocidades de soldagem, em comparação ao processo TIG, devido a resistência a perturbações externas e da direcionabilidade do arco.

### **2.4.2 Keyhole**

Segundo Silva (2012) a técnica *keyhole* é conhecida também como “furo controlado” ou “buraco de fechadura”, essa técnica, para poder ser controlada, é necessário a pratica no modo automático, já que a sua eficácia depende além da vazão do gás de orifício, da corrente e velocidade (constante) de soldagem, esses fatores são chamados de variáveis primarias de controle.

Segundo Diaz, Dutra e Junior (1999), no modo *keyhole*, e são utilizadas faixas de corrente na ordem de 100 A, é uma técnica que difere das outras, pelo fato do jato de plasma atravessar a junta a ser soldada. Esta técnica permite a soldagem em passe único, pode ser soldada com metais de adição e pode ser também autógena, sendo em arame ou pó, e é recomendada para juntas de topo sem chanfro, de até 10 mm espessura.

### **2.4.3 Microplasma**

Richetti e Ferraresi (1999) relata que microplasma é a técnica mais usada para um trabalho manual, mas pode ser também mecanizada ou automatizada, minimiza as distorções e é utilizada para a soldagem de equipamentos eletrônicos e instrumentos cirúrgicos. Esta técnica é utilizada para soldagem de chapas finas, por exemplo 0,1 mm, com correntes de soldagem entre 0,1 e 15 A. Esta técnica se caracteriza pela soldagem autógena, semelhante a uma agulha, formando um pequeno arco.

## **2.5 Aberturas do arco**

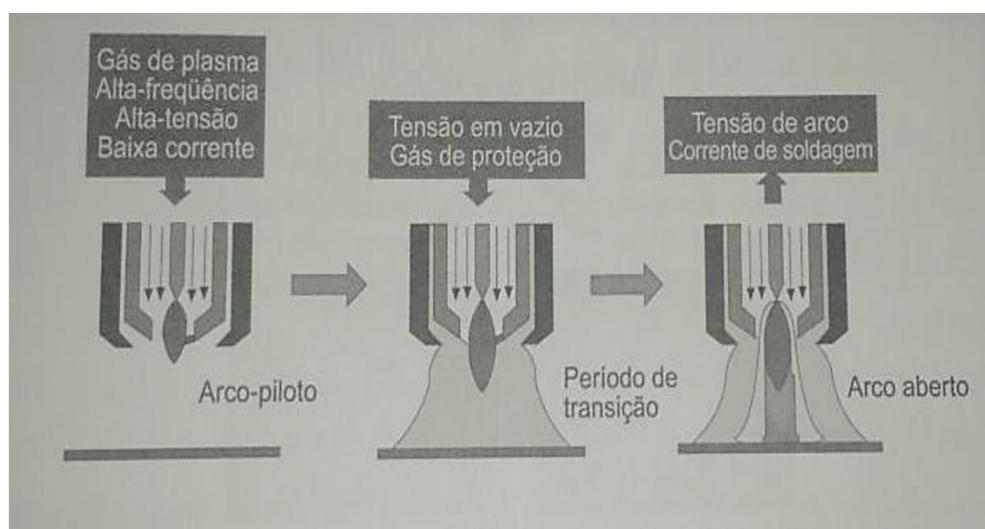
Segundo Moura (2013) em comparação entre o processo PAW e TIG, a abertura de arco é diferente. No TIG, é feita pelo contato eletrodo – peça, ou pela alta tensão e frequência entre o eletrodo e a peça.

Moura (2013) cita ainda que a ignição no processo PAW é feita com a assistência de um arco-piloto de baixa potência aberto entre o eletrodo e o

bocal de restrição, sob a presença de uma pequena vazão de gás de plasma e pela imposição de um sinal elétrico proveniente do ignitor de alta frequência.

De acordo com Reis e Scotti (2007), depois dessa abertura do arco-piloto, a ignição do arco principal é feita pela energização do circuito elétrico principal (eletrodo e metal de base), então esse espaço entre o eletrodo e a peça é chamado de tensão em vazio. O arco-piloto serve somente para a abertura do arco principal, após a abertura, o arco-piloto é extinto, porém se for preciso várias aberturas, é aconselhável manter o arco-piloto sempre acionado, para que seja evitada a diminuição do desgaste e a contaminação do eletrodo, ele evita também uma interferência nos controladores eletrônicos, devido ao pulso de alta tensão, que gera ruídos eletromagnéticos, causando assim interferência. Na Figura 4 veremos a sequência de ignição do arco principal por meio de arco-piloto.

**Figura 4 - Sequência de ignição do arco principal por meio de arco-piloto**



Fonte: REIS e SCOTTI (2007)

## **2.6 Consumíveis**

Os consumíveis utilizados no processo plasma são os gases de plasma, os gases de proteção e os metais de adição. (MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2009)

### **2.6.1 Gás de plasma**

Fletcher (2006) cita que este é o gás utilizado para a formação do arco-plasma, geralmente com vazão baixa, deve ser redutor ou inerte, dependendo do material a ser soldado. Os gases são: argônio e uma mistura de argônio com hidrogênio ou hélio. O argônio é o mais utilizado, apesar de ter baixo potencial de ionização e ser o que menos conduz calor, porém é o que melhor faz a abertura de arco e o acionamento do arco-piloto. A mistura do hidrogênio com o argônio gera uma maior concentração do plasma, aumentando a densidade da corrente, reduzindo o diâmetro da coluna de plasma, aumenta a transferência de calor para a peça, podendo ser usado para atingir maior taxa de fusão ou maiores velocidade de soldagem. Já a mistura argônio-hélio deve-se ter cuidado com a quantidade de gás hélio, pois, por ser um gás “mais quente”, danifica os componentes da tocha. Essa mistura se assemelha a mistura argônio-hidrogênio por conseguir focalizar o plasma. Essa mistura é usada para quando o uso do hidrogênio é restrito. A Tabela 1 mostra os parâmetros para a escolha do gás de plasma.

**Tabela 1 - Seleção de gases a serem utilizados no PAW**

Metal	Espessura (mm)	Técnica de soldagem	
		Keyhole	Convencional
Aço-carbono	abaixo de 3,2 acima de 3,2	Ar Ar	Ar (75% He + 25%Ar)
Aços de baixa-liga	abaixo de 3,2 acima de 3,2	Ar Ar	Ar (75% He + 25% Ar)
Aços inoxidáveis	abaixo de 3,2 acima de 3,2	Ar, (92,5% Ar + 7,5% H <sub>2</sub> ) Ar, (95% Ar + 5% H <sub>2</sub> )	Ar (75% He + 25% Ar)
Cobre	abaixo de 2,8 acima de 2,8	Ar Não recomendado (*)	(75% He + 25% Ar) He
Ligas de níquel	abaixo de 3,2 acima de 3,2	Ar, (92,5% Ar + 7,5%H <sub>2</sub> ) Ar, (95%Ar + 5%H <sub>2</sub> )	Ar (75% He + 25% Ar)
Metais reativos (titânio, tântalo, Zircônio)	abaixo de 6,4 acima de 6,4	Ar Ar + He (50 a 75% He)	Ar (75% He + 25% Ar)

Fonte: Welding Handbook (1991)

## 2.6.2 Gás de proteção

Ainda sobre Fletcher (2006) o gás de proteção é escolhido de acordo com o material a ser soldado, geralmente é o mesmo tipo de gás ao do gás de plasma, ou seja, argônio ou misturas com hidrogênio, hélio, e também misturas de argônio com CO<sub>2</sub> ou CO<sub>2</sub> puro. A escolha dos gases de proteção assemelha-se a escolha do gás de plasma. O argônio apresenta a menor penetração, o hélio transfere mais calor para a peça e o hidrogênio deixa os cordões de solda com aspecto de limpeza, por ser um gás redutor. A Tabela 2 mostra os parâmetros para escolha do gás de proteção.

Tabela 2 - Seleção dos gases de proteção para PAW

Metal	Espessura (mm)	Técnica de soldagem	
		Keyhole	Convencional
Alumínio	abaixo de 1,6 acima de 1,6	Não recomendado He	Ar, He He
Aço-carbono	abaixo de 1,6 acima de 1,6	Não recomendado Ar, (75% He + 25% Ar)	Ar, (25% He + 75% Ar) Ar, (75% He + 25% Ar)
Aços de baixa-liga	abaixo de 1,6 acima de 1,6	Não recomendado (75% He + 25% Ar) (Ar + 1,5% H <sub>2</sub> )	Ar, He, Ar + (1 a 5% H <sub>2</sub> ) Ar, He, Ar + (1 a 5% H <sub>2</sub> )
Aços inoxidáveis	Todas	Ar, (75% He + 25% Ar) Ar + (1 a 5% H <sub>2</sub> )	Ar, He, Ar + (1 a 5% H <sub>2</sub> )
Cobre	abaixo de 1,6 acima de 1,6	Não recomendado (75% He + 25% Ar), He	He, (75% He + 25% Ar) He
Ligas de níquel	Todas	Ar, (75% He + 25% H <sub>2</sub> ) Ar + (1 a 5% H <sub>2</sub> )	Ar, He, Ar + (1 a 5% H <sub>2</sub> )
Metais reativos (titânio, tântalo, Zircônio)	abaixo de 1,6 acima de 1,6	Ar, (75% He + 25% Ar), He	Ar Ar, (75% He + 25% Ar)

Fonte: Welding Handbook (1991)

### 2.6.3 Gás de purga e de proteção adicional

Segundo Fletcher (2006) entende-se por purga o ato de substituir uma atmosfera não desejada por um gás inerte que propicie a proteção gasosa da poça de fusão. O gás normalmente utilizado é o argônio, pois é um gás inerte, mais denso que o ar, de fácil obtenção e baixo custo relativo. A consequência de não executar a purga é uma solda com qualidade inaceitável, que muitas vezes deve ser reparada e que pode originar graves falhas.

### 2.6.4 Eletrodo de tungstênio

Brandi (1992) cita que o eletrodo de tungstênio é utilizado por suportar altas temperaturas, com um mínimo de derretimento e eletro-erosão, ser excelente condutor de elétrons e ter altíssima elasticidade. Eles são fabricados por processo metalúrgico do mais alto nível, chamado "sintering", no qual o produto é feito a partir de pó. Este processo se aplica principalmente na produção de metais ultra puros, caso do eletrodo de tungstênio.

As Tabelas 3 e 4 mostram alguns exemplos com as especificações de eletrodos de tungstênio de acordo com algumas normas.

**Tabela 3 - Especificação de eletrodos de tungstênio**

Designação	Composição (impurezas totais <0,1%)		Cor de identificação
	Aditivo óxido	Tungstênio	
EWP		≥ 99,95%	VERDE
EWTh-2	ThO <sub>2</sub> : 1,7 – 2,2%	BALANÇO	VERMELHO
EWLa-1.5	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 1,3 – 1,7%	BALANÇO	DOURADO
EWLa-1	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 0,8 – 1,2%	BALANÇO	PRETO
EWZr-1	ZrO <sub>2</sub> : 0,15 – 0,4%	BALANÇO	MARROM
EWCe-2	CeO <sub>2</sub> : 1,8 – 2,2%	BALANÇO	ALARANJADO
EWLa-2	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 1,8 – 2,2%	BALANÇO	AZUL
EWTh-1	ThO <sub>2</sub> : 0,8 – 1,2%	BALANÇO	AMARELO

Fonte: ANSI/AWS A5.12 (2017) Adaptado pelo autor.

**Tabela 4 - Especificação de eletrodos de tungstênio**

Designação	Composição (impurezas totais <0,1%)		Cor de identificação
	Aditivo óxido	Tungstênio	
WP		≥ 99,95%	VERDE
WT20	ThO <sub>2</sub> : 1,7 – 2,2%	BALANÇO	VERMELHO
WL15	LaO <sub>3</sub> : 1,3 – 1,7%	BALANÇO	DOURADO
WC20	CeO <sub>2</sub> : 1,8 – 2,2%	BALANÇO	CINZA
WZ8	ZrO <sub>2</sub> : 0,7 – 0,9%	BALANÇO	BRANCO
WL10	LaO <sub>2</sub> : 0,9 – 1,2%	BALANÇO	PRETO
WL20	LaO <sub>2</sub> : 1,8 – 2,2%	BALANÇO	AZUL CLARO
WT10	ThO <sub>2</sub> : 0,8 – 1,2%	BALANÇO	AMARELO
WT30	ThO <sub>2</sub> : 2,8 – 3,2%	BALANÇO	VIOLETA
WT40	ThO <sub>2</sub> : 3,8 – 4,2%	BALANÇO	ALARANJADO
WZ3	ZrO <sub>2</sub> : 0,15 – 0,5%	BALANÇO	MARRON
WY20	YtO <sub>2</sub> : 1,8 – 2,2%	BALANÇO	AZUL

Fonte: ANSI/AWS A5.12 (2017) Adaptado pelo autor.

### 2.6.5 Metais de adição

De acordo com Marques, Modenesi e Bracarense (2009) a maioria dos metais de adição é feita de maneira autógena, porém quando é desejável inserir elementos de liga ou quando se deseja diminuir o nível de porosidade,

por exemplo, existem os metais de adição. São disponibilizados em forma de varetas, para soldagem manual ou arames embobinados para soldagem automatizada ou mecanizada, e também em forma de pó metálico, este último é mais aplicado em revestimentos. A Tabela 5 mostra um exemplo da especificação AWS para metais de adição utilizados no processo PAW.

**Tabela 5 - Especificação AWS de metais de adição (PAW)**

<b>Especificação</b>	<b>TIPO DE METAL DE ADIÇÃO</b>
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 A 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 e Bracarense (2009) Adaptado pelo autor.

## **2.7 Materiais e juntas do processo PAW**

### **2.7.1 Materiais base**

De acordo com Welding Handbook (1991) a aplicação do PAW pode ser feita em todos os materiais soldáveis pelo processo TIG, como por

exemplo, titânio, zircônio, ligas de alumínio, aços carbonos, aços de baixa liga, aço inoxidáveis, ligas de cobre, ligas de níquel e ligas de cobalto.

Welding Handbook (1991) ainda destaca que utilizando a técnica *keyhole* matérias de espessura entre 1,6 e 9,5mm podem ser soldados em um único passe com arco transferido e polaridade direta, dois ou mais passes são requeridos para espessuras maiores.

Ainda de acordo com Welding Handbook (1991) o aço carbono pode ser soldado em espessuras que vão de 3,0 a 6,0mm e o aço inoxidável entre 2,5 e 8,0mm. Porém o aço inoxidável é recomendável uma junta em V com nariz de 4,0 a 5,0mm quando a espessura do material base estiver compreendida entre 7,0 a 8,0mm. Para a soldagem de aços inoxidáveis autênticos, o processo a plasma apresenta uma considerável vantagem sobre o processo TIG, a elevada razão penetração/largura para um menor volume de metal fundido. As ligas de alumínio podem ser soldadas em passe único quando tiverem uma espessura de até 12,7mm na posição plana. Já na posição vertical essa espessura pode ser de até 16,0mm.

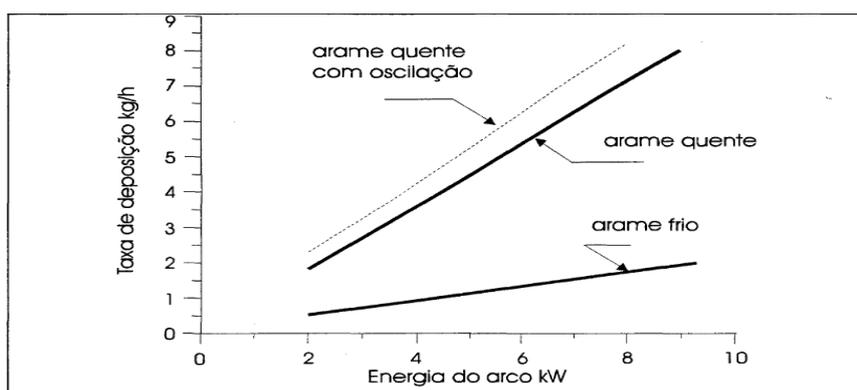
Titânio e ligas de titânio segundo Boucher e Messenger (1996), podem ser soldados em diversas posições com espessuras um pouco maiores que 12,0mm. O mesmo relata que podem ser obtidas soldas com excelente qualidade.

### **2.7.2 Materiais de enchimento**

De acordo com Rela (1992) no processo PAW exceto para as juntas de abertura estreita é utilizado material de adição. Sendo o mesmo alimentado automaticamente por um alimentador de arame ou manualmente como no processo TIG. Num modo geral o material adicionado é da mesma composição do material base, essa adição pode ser com um arame frio ou previamente aquecido chamado de “arame quente”.

Segundo Welding Handbook (1991) o arame quente ou fio quente, é um interessante meio que visa aumentar a taxa de deposição com o PAW, o arame é alimentado continuamente na poça de fusão, o eletrodo é conectado em polaridade direta e o arame em corrente alternada. A ponta do eletrodo não forma arco com a peça, mantendo contato com a poça de fusão e, assim, aquecendo resistivamente (efeito joule). Dessa forma o arco fornece a energia adicional necessária para que o arame funda continuamente, aumentando consideravelmente a taxa de deposição. Caso o arame quente sofra oscilação, há ainda um aumento maior do metal depositado por unidade de tempo. A Figura 5 ilustra esse comportamento e mostra um comparativo entre os casos.

**Figura 5 - Taxas de deposição para soldagem com adição de material. Arame quente com e sem oscilação e Arame frio**



Fonte: Welding Handbook (1991)

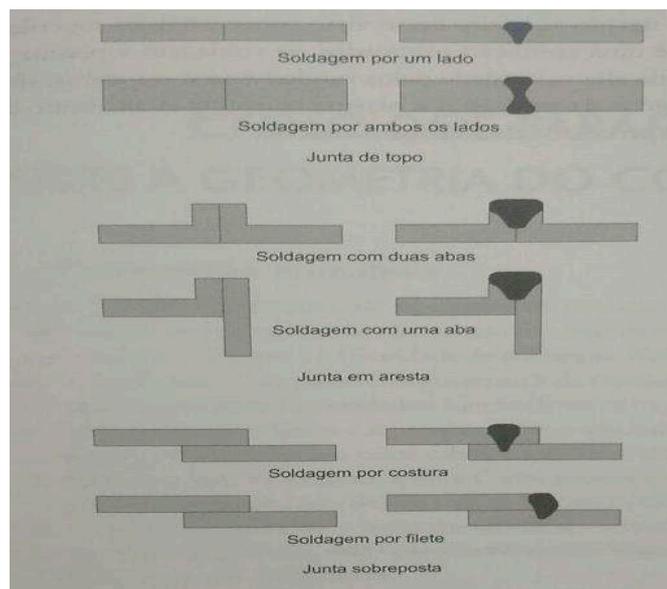
### 2.7.3 Juntas no processo PAW

De acordo com a Welding Handbook (1991), as juntas mais utilizadas na soldagem a plasma são juntas de topo, em aresta e costura sobreposta. O tipo mais usual de junta utilizado nos três modos de operação é a junta de topo. No método *keyhole* efetua-se a soldagem de juntas de topo, e também de costura, no melt-in e microplasma é comum a soldagem de juntas em aresta ou sobrepostas, na sobreposta a configuração é caracterizada por ser filete. Nas

Figuras 6 e 7 podemos ver alguns tipos e configurações de juntas na soldagem PAW.

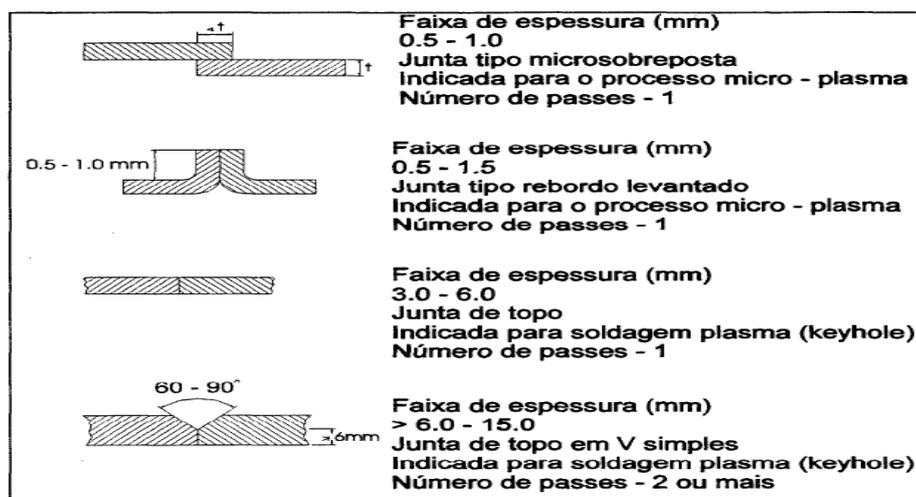
A Abertura da junta, o ajuste e o desencontro no PAW, são fatores mais fáceis de serem resolvidos em relação ao processo TIG e os demais processos de acordo com Welding Handbook (1991). Soldas de topo podem ser realizadas com êxito, sem a necessidade de usinagem das bordas, em espessuras até 6,35mm. Já os materiais com espessura maiores requerem a usinagem, pois as arestas cortadas apresentam grandes distorções, aumentando a folga entre as chapas na região das juntas.

**Figura 6 - Configuração de juntas na soldagem PAW**



**Fonte: REIS e SCOTTI (2007)**

**Figura 7 - Tipos e configurações mais indicadas para soldagem Plasma**



Fonte: LUCAS (1990)

## 2.8 Equipamentos para o processo PAW

De acordo com Marques, Modenesi e Bracarense (2009) PAW pode ser efetuada na forma automatizada, tanto como manualmente. Os equipamentos e componentes para execução de soldagem a plasma são: uma fonte de energia, sistema para abertura do arco, reguladores e monitores de vazão de gás, fonte de gases, sistema de controle e tocha de soldagem. Outros tipos de componentes podem até serem usados, para melhoria da soldagem ou para obter características e propriedades diferentes.

### 2.8.1 Fontes de energia

Segundo Marques, Modenesi e Bracarense (2009), a fonte de energia é do tipo constante, e pode ser contínua ou pulsada. A capacidade varia entre correntes de 100 a 500 A, para fontes convencionais (eletromagnéticas), sendo que as de microplasma podem iniciar com valor de no mínimo 0,1 A. A característica estática de fonte (CEF) do processo PAW é do tipo corrente constante, ou seja, independe da carga imposta (impedância), a corrente sempre será a mesma.

Reis e Scotti (2007) citam que as fontes eletromagnéticas, com tensão em vazio da ordem de 65 a 80 V, podem ser consideradas satisfatórias quando se utiliza argônio ou mistura, com no máximo até 7% de hidrogênio. Outras misturas podem ser empregadas como, por exemplo, o gás hélio, mas para valores mais elevados de hélio ou hidrogênio é necessária uma maior tensão em vazio, o que pode trazer riscos ao operador. Já nas fontes eletrônicas é possível obter um maior controle da corrente, como por exemplo, rampa de subida e descida, regulagem progressiva do tempo para atingir a nominal de soldagem e até a interrupção do arco.

### 2.8.2 Módulo de controle plasma

O módulo de controle plasma, Figura 8, é um dispositivo que controla as principais funções do arco-plasma. Segundo Reis (2005) o equipamento possui um circuito gerador de pulsos de alta tensão, para abertura do arco-piloto, que tem a função de manter a abertura a um baixo nível de corrente. Possui outras funções como regulagem dos fluxos de gás de plasma e de proteção, e também para proteção do sistema de refrigeração da tocha.

Figura 8 - Módulo de controle.



Fonte: LabSolda (2017)

### 2.8.3 Tocha de soldagem

De acordo com Reis e Scotti (2007) As tochas de soldagem do processo PAW podem ser manuais ou mecanizadas, variando com faixas de corrente de até 350 A. Todas as tochas são refrigeradas a água, devido a alta intensidade de calor. As tochas manuais possuem a característica de terem menor capacidade, e não permitem a troca do bocal de constrição, não variando assim o diâmetro ou número de orifício, já as mecanizadas tem maior capacidade, podem variar o tamanho do diâmetro e também o número de orifícios. Na Figura 9 podemos ver uma tocha de soldagem manual e uma mecanizada.

**Figura 9 Tocha manual (cima), tocha mecanizada (baixo)**



**Fonte: Portal Metálica (2017)**

### 2.8.4 Alimentadores de arame

Reis e Scotti (2007) cita que uma das formas de alimentação do arame é a manual, o soldador alimenta a poça de fusão pela ponta de uma vareta

metálica, e a outra é mecanizada, com sistema de alimentação muito semelhante ao do processo GMAW, podendo ser ainda de maneira pulsada ou contínua, tendo então um maior ciclo de trabalho e um menor desperdício. Ainda é possível utilizar acessórios como um bico alimentador que fica a frente da tocha de soldagem e também uma caneta alimentadora.

### **2.8.5 Reguladores ou monitores de vazão de gás**

Segundo Reis e Scotti (2007) os equipamentos geralmente utilizados são rotômetros, com escalas específicas para cada gás, usa-se também monitores a base de turbinas e um outro com mais precisão chamados térmicos. Para gás de plasma são necessários medidores para baixas vazões, são sistemas mais complexos, já para monitoramento do fluxo dos gases de proteção, purga e proteção adicional, podem ser feitos por sistemas convencionais.

## **2.9 Aplicações da Soldagem Plasma**

Segundo Reis e Scotti (2007) a PAW é considerada um processo avançado e nobre, embora seja utilizado a cerca de 40 anos para outras operações, porém essas considerações são devido aos desenvolvimentos recentes. Suas aplicações vão desde componentes com pequenas espessuras utilizados em equipamentos médicos e de instrumentação, até em variadas áreas da indústria.

Ainda de acordo com Reis e Scotti (2007) uma das maiores aplicações da PAW é na fabricação e reparos de tubos, especialmente em ligas de cobre e níquel, aço inoxidável e aço carbono, em espessuras entre 3,0 a 25,4mm e até 25m de comprimento. Essa aplicação vem se destacando cada vez mais no cenário mundial pela introdução do plasma pulsado, utilizando correntes pulsadas com frequência em torno de 2 a 10Hz.

De acordo com Halmoy, Fostervoll e Ramsland (1994) aplicações recentes em tubos de aço inoxidável duplex com espessuras entre 6,4 e 10,6mm estão sendo utilizados na fabricação e reparos offshore.

Já na industrial automotiva e aeroespacial segundo Reis (2005) a PAW vem sendo utilizada para a união de diversos componentes como: o sistema de escapamento veiculares, partes dos motores a jato de aeronaves comerciais, propulsores de ônibus espaciais e até em alguns componentes de sua fuselagem. Algumas operações de soldagem que requerem uma alta confiabilidade e qualidade da solda, cuja falha pode causar altíssimos danos ao meio ambiente, têm sido utilizadas o processo PAW. Vasos de pressão sujeitos a pressões de até 200bar e containers de combustíveis nucleares, são exemplos típicos de aplicação do processo.

### **3 Metodologia**

#### **3.1 Tipo de pesquisa**

Esse trabalho tem como objetivo proporcionar maiores informações sobre a soldagem a plasma (PAW), e se enquadra no tipo de pesquisa exploratória. Nesse tipo de pesquisa o autor deve analisar um conjunto de fenômenos, buscando suas particularidades, sendo considerado, muitas vezes, o primeiro passo para uma pesquisa mais aprofundada (WASLAWIKI, 2014).

Do ponto de vista da abordagem técnica, o trabalho foi realizado a partir da pesquisa bibliográfica, que consta da análise de material já publicado, como livros, trabalhos acadêmicos, inclusive materiais disponíveis na Internet (SILVA; MENEZES, 2005).

Para a elaboração desse trabalho, foi realizada a seleção das informações obtidas por essas fontes publicadas. A pesquisa exploratória também “Proporciona maiores informações sobre o tema que o pesquisador pretende abordar [...] e também a descobrir uma forma original de desenvolver seu assunto”. (CIRIBELLI, 2003)

#### **3.2 Fontes Publicadas**

A pesquisa se iniciou com a identificação das principais literaturas publicadas sobre o estudo. Foram, então, identificadas as fontes clássicas com os principais autores relacionados, de forma geral. Também foi realizada uma busca sobre o assunto na internet, procurando acessar sites acadêmicos ou de instituições relacionadas a assuntos de soldagem a plasma (PAW).

Tipos de publicações que foram utilizadas:

1. Livros;
2. Teses;

3. Dissertações;
4. Artigos; e
5. Textos da Internet.

### **3.3 Base de Dados**

Foram utilizadas diversas bases de dados para esse estudo. Para a localização de livros sobre o tema foi utilizado o sistema busca da biblioteca da UNITAU. Quando não foi possível o empréstimo do livro, o mesmo foi adquirido para o maior aprofundamento das questões abordadas na monografia. Os artigos foram extraídos de casos ocorridos e aplicados em empresas fixadas no exterior e até mesmo entrevistas publicadas em revistas do setor de engenharia.

### **3.4 Seleção de Fontes**

Foi realizada uma triagem das literaturas encontradas para selecionar quais delas realmente seriam utilizadas na monografia. Para isso foi feita a leitura exploratória das fontes, identificando o conteúdo de cada publicação, tendo em mente os objetivos desse trabalho. Depois foi feita a leitura interpretativa, com a qual pôde ser realizada a compilação de ideias de diversos autores, permitindo a realização das interpretações e críticas próprias sobre o assunto.

### **3.5 Análise e Interpretações**

Para cada fonte bibliográfica foi realizado um fichamento, identificando os principais trechos de cada uma das literaturas. A partir de cada fichamento, foi realizada a compilação dos diferentes conceitos e definições que são abordados por cada autor. A partir de uma análise prévia sobre como cada autor aborda o assunto, foi possível o desenvolvimento de uma redação embasada, com uma escrita interpretativa e crítica sobre o assunto.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Constatou-se que a corrente pode alterar a geometria do cordão de solda, e a vazão do gás de plasma. O tipo mais usual de corrente é a corrente contínua com eletrodo no negativo, corrente contínua com eletrodo no positivo também pode ser usado, mas para casos específicos.

Já o diâmetro do orifício, influencia na constrição, concentração e intensidade do arco, e distribuição de calor, a escolha do diâmetro deve ser feita de acordo com a espessura. A penetração depende muito da vazão do gás, quanto maior a vazão maior a penetração.

A velocidade tem o mesmo efeito em comparação com os outros processos a arco, quanto maior a velocidade, mais estreito e menor a penetração, quanto menor a velocidade, mais largo e maior a penetração. E já a distância da tocha com a peça, apresenta pouca influência, devido ao formato do arco ser cilíndrico.

A soldagem a plasma pode ser feita em qualquer posição, em altas velocidades e uma menor energia de soldagem imposta, solda os mesmos tipos de materiais que o processo TIG, aço carbono, alumínio, titânio, aços inoxidáveis, e devido a alta estabilidade do arco, com o uso de intensidade de corrente muito baixa, é possível a soldagem de peças com espessuras inferior a 1 milímetro, o que é muito difícil de ser feito com outros processos.

## 5 CONCLUSÃO

Na realização deste trabalho concluiu-se que as principais variáveis na soldagem a plasma são a corrente de soldagem, o diâmetro do orifício do bocal constritor, a vazão de gás de plasma, a vazão de gás de proteção e a velocidade de soldagem.

Concluiu-se também que com o passar do tempo os processos de soldagem estão em constante evolução e o processo a plasma (PAW) não é diferente, por mais que seja um processo antigo ele é considerado um processo de alta tecnologia.

Suas aplicações no cenário mundial são consideradas aplicações de alta confiabilidade tornando-a um processo de soldagem nobre, em função do alto custo dos gases envolvidos. São utilizadas em um vasto campo que vai desde pequenas soldas em vasos de pressão até a indústria aeroespacial.

## REFERÊNCIAS

AWS/ANSI. **American Welding Society**. A5.12. 2017.

BOUCHER, C., MESSENGER, F. **All-position arc welding de titanium**. In: XXII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DA SOLDAGEM, p. 595-606, BlumenauSC, julho 1996.

BRANDI, S.D. **Processos e Metalurgia; Transferência metálica em soldagem com arco elétrico**. São Paulo: Blucher,1992.

CIRIBELLI, M. C. **Como elaborar uma Dissertação de Mestrado através de Pesquisa Científica**. Rio de Janeiro: 7 Letras, 2003.

DIAZ, V.V, DUTRA, J.C, JUNIOR, R.G, **Análise dos Parâmetros e Variáveis da Soldagem Plasma Pela Técnica keyhole para a Determinação de Seus Graus de Relevância**, XXV Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem,1999.

FLETCHER, M. **Gás purging optimizes root welds**. Welding Journal, p.38-40 2006.

HALMOY, E., FOSTERVOLL, H., RAMSLAND, A. R. **New applications o f plasma keyhole welding**. *Welding in the World*, v. 34, p. 285-291, 1994

HOULDCROFT,P.T. **Welding Process Technology**; Cambridge University Press, London, p.1-15,1979.

**LabSolda**<[http://www.labsolda.ufsc.br/projetos/projetos\\_viabilizados/modplasma.php](http://www.labsolda.ufsc.br/projetos/projetos_viabilizados/modplasma.php)> acesso em 17/10/2017.

LUCAS, W. **TIG and plasma welding**. England: Abington Publishing. 1990.

MARQUES, P.V, MODENESI, P.V, BRACARENSE A.Q **Soldagem Fundamentos e Tecnologia**. 3ª edição. Belo Horizonte: UFMG, 2009.

MODENESI, P.J, MARQUES, P.V **Introdução aos Processos de Soldagem**, Universidade Federal de Minas Gerais,2011.

MOURA, J.C.R, **Solda a ponto "oneside" utilizando arco Plasma: aplicação em peças de carroceria automotiva**, São Caetano do Sul,2013.

**Portal**                      **Metálica**                      Disponível                      em                      <  
[http://www.metlica.com.br/pg\\_dinamica/bin/pg\\_dinamica.php?id\\_pag=789](http://www.metlica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_pag=789)>  
acesso 17/10/2017.

REIS, R.P, SCOTTI, A. **Fundamentos e prática da soldagem a plasma** São Paulo:Artliber, 2007.

REIS,R.P, **Soldagem Plasma "MELT IN" De Aço Comum ao Carbono**, Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, 2005.

RELA, P.R. **Processos e Metalurgia; Processo de soldagem com plasma**. São Paulo: Blucher,1992.

RICHETTI. A, FERRARESI, V.A, **Utilização Do Processo De Soldagem Por Plasma Com a Técnica "Keyhole" No Passe De raiz de Uma Junta em V**, Universidade Federal de Uberlândia, Departamento de Engenharia Mecânica,1999

SILVA, S.R, **Desenvolvimento Do Processo De Soldagem Plasma-Keyhole**, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4 ed. Florianópolis: UFSC, 2005.

WASLAWIKI, R. S. **Metodologia de Pesquisa para Ciência da Computação**. 2 ed. 2009.

WELDING HANDBOOK. **AWS, v.2 - Welding process, eighth edition, 1991.**