

## ESTUDO DOS PARÂMETROS DE CORTE A PLASMA E INFLUÊNCIAS NA QUALIDADE DA PEÇA

### STUDY OF PLASMA CUTTING PARAMETERS AND INFLUENCES ON THE QUALITY OF THE PIECE

<sup>1</sup>ESCOTENISCE, Rafael Henrique Ribeiro; <sup>2</sup>RIBEIRO, Fernando Sabino Fontequé; <sup>3</sup>MUNHOZ, Marcelo Rodrigo; <sup>4</sup>GONÇALVES, Gustavo José Corrêa

<sup>1e2</sup>Departamento de Engenharia – Centro Universitário das Faculdades Integradas de Ourinhos-  
Unifio/FEMM

#### RESUMO

O corte a plasma é um processo de fabricação que desempenha um papel fundamental em várias indústrias devido à sua importância em cortar materiais condutores elétricos, especialmente metais. Importante. Devido a sua versatilidade, velocidade e precisão, este processo de corte é amplamente encontrado na indústria metal mecânica. Todavia, verifica-se a escassez de material técnico acessível ao grande público. Isso posto, este artigo faz um breve levantamento bibliográfico sobre o processo de corte a plasma, e seus parâmetros de operação, abordando as principais e atuais máquinas presentes no mercado e o funcionamento delas, escolha de consumíveis, escolha de gases, ajustes de velocidade e altura e quais são as influências desses parâmetros no resultado final da peça cortada, desde o acabamento até a formação da ZTA.

**Palavras-chave:** Plasma; Parâmetros de Corte; Acabamento; Máquina de Corte.

#### ABSTRACT

Plasma cutting is a manufacturing process that plays a key role in various industries due to its importance in cutting electrically conductive materials, especially metals. Important. Due to its versatility, speed and precision, this cutting process is widely found in the metalworking industry. However, there is a shortage of technical material accessible to the general public. That said, this article makes a brief bibliographic survey on the plasma cutting process, and its operating parameters, covering the main and current machines present on the market and their operation, choice of consumables, choice of gases, speed adjustments and height and what are the influences of these parameters on the final result of the cut piece, from finishing to the formation of the HAZ.

**Keywords:** Plasma; Cutting Parameters; Finishing; Cutting Machine.

#### INTRODUÇÃO

O processo de corte a plasma surgiu aproximadamente em 1995 e vem passando por aprimorações, e hoje é uma tecnologia muito utilizada. Segundo Portal Metálica (2011), a velocidade de corte em chapas metálicas finas apresentada pelo processo de corte a plasma supera o processo de oxicorte, aliando essa característica ao preço dos equipamentos de plasma cada vez mais baratos. De acordo com Mesquita e Rugani (1997), boa parte da indústria seleciona estas tecnologias em função de características como espessura do material a ser cortado, volume de material a ser cortado, e tipo de material. Em linhas gerais, os processos de corte por abrasão são comumente utilizados para maiores espessuras, acima de 25mm. Por sua vez, os processos de cisalhamento e o corte a laser para materiais mais finos, com espessura até 3mm. O corte plasma tem aplicações na espessura de 3mm a 25mm, sendo possível aplicá-lo em espessuras

de até 80mm com velocidades de corte e custo operacional mais atrativos do que as outras tecnologias.

O processo de abertura do arco acontece através de um ignitor de alta frequência ou de um arco-piloto. Este arco piloto pode ser obtido por meio de um circuito de alta frequência ligado a um circuito de alta potência, sendo estabelecido entre um eletrodo que atua como catodo e a peça que atua como anodo. Já o processo de aquecimento do metal ocorre com o auxílio do arco elétrico, que provoca em uma coluna de gás um aumento suficiente de sua temperatura para gerar impactos entre as moléculas que causarão um certo grau de dissociação e ionização. Esse gás ionizado irá passar por um orifício de parede fria, onde sofrerá um gradiente de temperatura entre o centro e a sua parte de fora, fazendo com que a densidade no centro diminua favorecendo o aumento de energia dos elétrons que agora terão energia suficiente para ionizar outros átomos. Este fenômeno acarreta um aumento do grau de ionização e da temperatura do arco, levando a um aumento da taxa de energia transferida para a peça (WAINER, BRANDI E MELLO, 2010).

Diante do exposto, verifica-se que esta é uma tecnologia muito empregada na indústria, podendo ser considerada de baixo-custo e com desempenho adequado a sua proposta, mas que carece de maior quantidade de informações técnicas. Isto posto, o objetivo deste artigo é realizar um levantamento bibliográfico afim de disponibilizar as tecnologias e técnicas envolvidas no corte a plasma, permitindo ampliar os conhecimentos para futuras pesquisas experimentais.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Para a realização deste trabalho, foram determinados alguns tópicos influentes para a caracterização do corte a plasma no cenário industrial. Desta forma, os resultados visam a destacar os seguintes tópicos.

- Funcionamento do corte a plasma;
- Modelos de máquinas e aplicações;
- Vantagens e desvantagens;
- Parâmetros de corte;
- Acabamento do corte;
- Características da peça afetada pelo corte.

Durante o levantamento bibliográfico, foram realizadas pesquisas no âmbito de artigos científicos, dissertações de mestrado e teses de doutorado. Segundo

Pimenta (2013), o corte pode ser manual ou mecanizado, com velocidade elevada e pode ser iniciado em qualquer ponto da peça. O jato de plasma funde e elimina o metal de base com grande eficiência, derivando em uma superfície com excelente acabamento, precisão dimensional, pequena distorção e com uma restrita zona afetada pelo calor.

O corte a plasma é muito utilizado devido a sua velocidade de corte e não tem a necessidade de um acabamento após o corte, pois seu acabamento alinhado com os ajustes adequados, a peça saíra pronta após o corte.

Algumas das desvantagens do corte a plasma, é o custo de máquina. Já que está pode ser desde manual até controlada por CNC (comando numérico computadorizado), onde dividiu-se em 4 tipos de máquinas mais conhecidas.

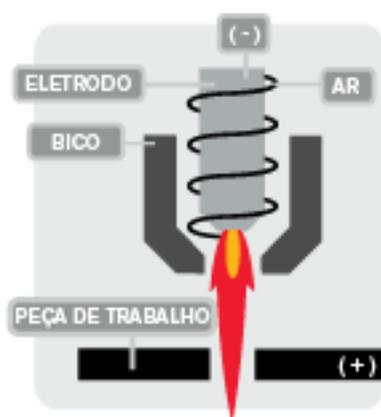
Os parâmetros de corte estão diretamente ligados aos tipos de máquinas, e o acabamento da peça cortada. Existem vários consumíveis e variáveis existente no corte a plasma que deve ser conhecido pelo operador.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Existem vários modelos de equipamentos que utilizam o corte a plasma, e pode-se citar os seguintes:

- Plasma convencional de fluxo único: Geralmente este processo usa um único gás (normalmente ar ou nitrogênio) que tanto produz quanto resfria o plasma, conforme mostrado na Figura 1 (HYPERTHERM, 2023);

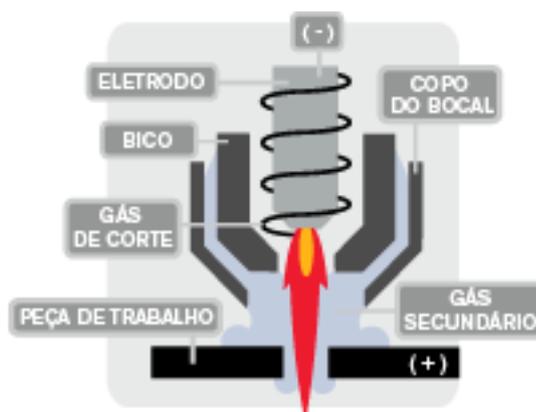
**Figura 1:** Plasma convencional de fluxo único.



Fonte: HYPERTHERM, (2023).

- Plasma de fluxo duplo (sem proteção): Este processo utiliza dois gases: um para o plasma e outro como um gás de proteção. Em sistemas menores (menos de 125 A), o ar comprimido é geralmente, usado como gás de proteção e de plasma. Os sistemas de gás duplo sem proteção têm um bico exposto e não devem ser usados no corte por arrasto;
- Plasma de fluxo duplo (com proteção): Esse processo utiliza dois gases, um gás de plasma e um gás de proteção. Em sistemas com menos de 125 A, o ar geralmente é usado como gás de plasma e proteção. A vantagem da tecnologia de bocal é que ela isola eletricamente o bico do contato com o escape de metal derretido da perfuração, e também permite o corte por arrasto em aplicações manuais, como mostrado na Figura 2 (HYPERTHERM,2023);

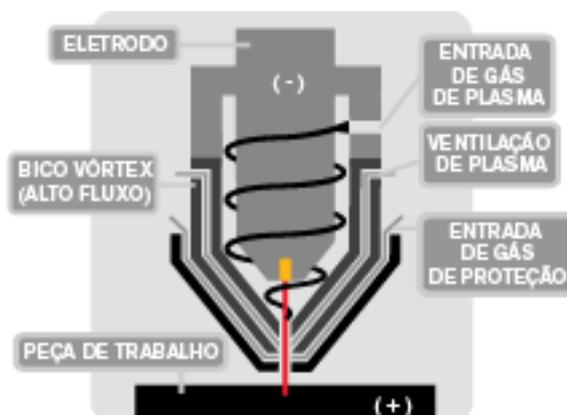
**Figura 2:** Plasma de fluxo duplo (com proteção)



**Fonte:** HYPERTHERM, (2023).

- Plasma de alta definição: Nesse processo, um design específico de bico estreita o arco e aumenta a densidade de energia. Por causa da maior energia do arco, o plasma de alta definição alcança uma qualidade de corte superior em materiais de até 50 mm com angularidade superior de borda de corte, kerf mais estreito e maiores velocidades de corte do que a tecnologia de corte a plasma convencional. Não é incomum esses sistemas conseguirem uma precisão de peça cortada na faixa de +/- 0,25 mm. Este processo é representado na Figura 3 (HYPERTHERM, 2023);

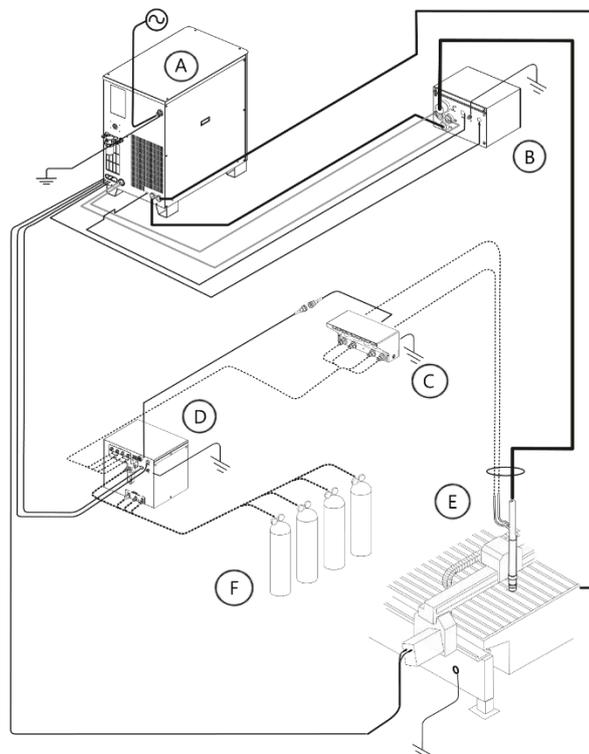
**Figura 3:** Plasma de alta definição



Fonte: HYPER THERM, (2023).

Uma máquina de corte a plasma, é composta por vários equipamentos, dentro eles os mais importantes são: uma fonte de energia, tocha, fonte de gases e unidades de controle. A Figura 4 representa esquematicamente o equipamento.

**Figura 4:** esquematização máquina de corte a plasma



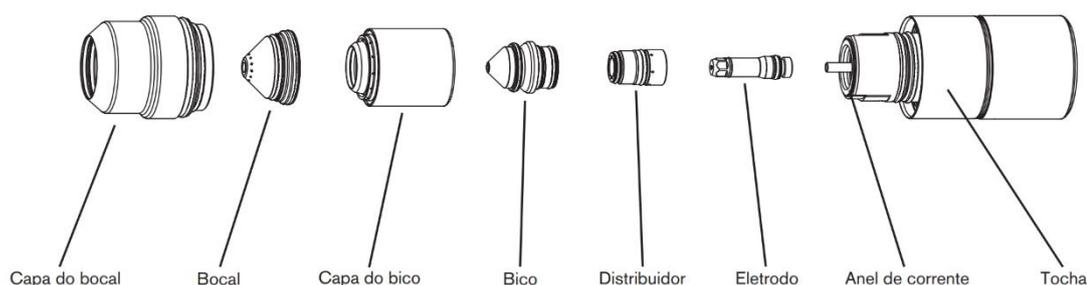
Fonte: adaptado de HYPER THERM, (2015).

- A – Fonte de energia;
- B – Console de ignição;

- C - Conjunto off-valve;
- D - Console de Gás;
- E - Tocha;
- F – Fonte de gases.

As tochas podem ser para corte manual ou mecanizado, auxiliado por um comando numérico computadorizado (CNC), as tochas são o suporte para o consumível de corte, que são: eletrodo, distribuidor de gás, bico e capa, podendo ter outros consumíveis dependendo da qualidade de tecnologia da tocha. O distribuidor de gás é constituído por material isolante e tem como função fornecer um sentido rotacional ao gás. Esse sentido é necessário pois dessa forma aumenta-se a constrição do arco e conseqüentemente aumenta-se a sua temperatura. O bico tem como função constriuir o plasma e então guiá-lo até o elemento a ser cortado. O eletrodo tem como principal função conduzir corrente elétrica, para que ocorra a emissão dos elétrons e assim gerar o plasma. E a capa tem as funções de manter os componentes alinhados e isolar a parte elétrica do bocal frontal (LIMA, 2006). A Figura 5, apresenta os consumíveis de uma tocha com regulador de gás manual, com corrente de 130A do modelo HPR130XD. Essa tocha consiste em um plasma de alta definição.

**Figura 5:** componentes da tocha



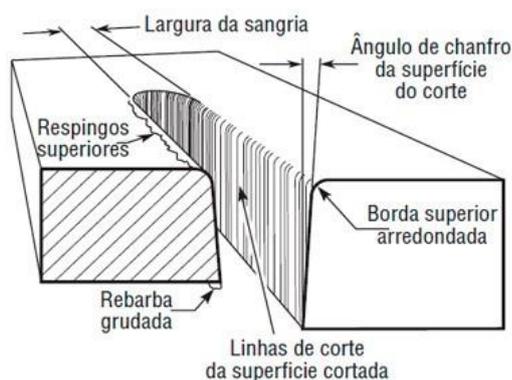
**Fonte:** HYPERTHERM, (2015).

O processo de corte a plasma, assim como qualquer técnica ou tecnologia de corte, é necessário seguir parâmetros de corte já conhecidos, visto que, as peças cortadas no processo de plasma, podem ser utilizadas logo após a conclusão do corte, já que esse tipo de tecnologia não exige um processo de acabamento das peças, mas esse resultado só é obtido se o corte seguir os

parâmetros adequados para cada tipo e espessura de material. Independente da utilização, é importante que as superfícies geradas sejam livres de descontinuidades para evitar a necessidade de uma operação secundária de limpeza, como usinagem ou lixamento (MOUGO, CAMPOS, SILVA E ARYDES, 2018).

A qualidade da superfície cortada por plasma é função dos ajustes e dos parâmetros de corte como a altura do bocal até a superfície da peça, do ângulo de inclinação da tocha, da velocidade de corte, do fluxo de gás e da habilidade do operador (MOUGO, CAMPOS, SILVA E ARYDES, 2018). Quando tratado de uma máquina de corte auxiliada por CNC, o operador fica restrito ao posicionamento da tocha em relação a chapa. A Figura 6, apresenta as principais descontinuidades macroscópicas geradas no corte a plasma.

**Figura 6:** Principais descontinuidades macroscópicas geradas no corte a plasma



**Fonte:** MOUGO, CAMPOS E SILVA (2018).

Dependendo do tipo de tocha, a direção de corte pode influenciar no acabamento superficial da peça cortada. A distância do bocal e da peça varia entre 6 e 16 mm. Menores velocidades de corte resultam na maioria das vezes em superfícies com melhor acabamento (MARQUES, MODENESI e BRACARENSE, 2011). O Quadro 1, apresenta valores de velocidades teóricas utilizadas em corte a plasma CNC.

**Quadro 1:** Velocidade teórica de corte a plasma CNC

Material	Espessura (mm)	Corrente (Ampères)	Velocidade de corte (mm/min)
Aço Carbono	0,50	25	10540
	1,50	40	5600
	3,00	60	5400
	6,00	80	2700
	12,00	100	1500
	19,00	100	660
	25,00	100	460
Aço Inoxidável	0,50	25	10400
	1,50	40	6200
	3,00	60	4500
	6,00	80	2600
	12,00	100	1320
	19,00	100	640
	25,00	100	390
Alumínio	0,50	25	10000
	1,50	40	4400
	3,00	60	3300
	6,00	80	2400
	12,00	100	1000
	19,00	100	840
	25,00	100	540

Fonte: PIMENTA, (2013).

O Quadro 2 apresenta alguns gases e suas características durante o corte a plasma.

**Quadro 2:** Quadro de gases no corte a plasma

Gás	Usado com:	Vantagens	Desvantagens
Ar	Ar	Conveniente	Nitretação na superfície de corte
	Nitrogênio	Baixo Custo	
	Oxigênio		
Dióxido de Carbono	Nitrogênio	Boa proteção para vários tipos de metais.	Inconveniente (pode requerer console de gás)
		Boa vida útil do consumíveis	Superfície de corte rugosa
		Maior flexibilidade de parâmetros	
Nitrogênio	Nitrogênio	Excelente qualidade de corte em Inox e Alumínio	Nitretação da superfície de corte
	Argônio/Hidrogênio	Boa vida útil dos consumíveis	Menor flexibilidade dos parâmetros
			Menor vida útil dos consumíveis (comparado ao CO <sup>2</sup> )
Água	Nitrogênio	Excelente qualidade de corte em Inox e Alumínio	Sujeira
	Argônio/Hidrogênio	Menos fumos	Requer água de alta qualidade

Fonte: FERREIRA, (2017).

É necessário compreender que corte externo e corte interno devem ser considerados parâmetros diferentes, principalmente quando tratado cortes de diâmetros, ou seja, furação. A maior dificuldade encontrada atualmente está quando o diâmetro se aproxima da espessura da chapa, por isso deve ser considerado alguns parâmetros. Segundo Caló (2013), para plasma de alta definição, chapas acima de 3mm, utiliza-se 1,5 vezes a espessura do material. Para o plasma convencional, chapas de 3mm a 12mm utilizar, 1,5 vezes a espessura do material. Outro fator importante, é o sentido de corte. De acordo com Caló (2013), quando se trata de diâmetros internos no corte plasma e os mesmos devem ser feitos no sentido anti-horário para um melhor controle do arco, desta forma o lado chanfrado do corte vai ficar no miolo, ou seja, sucata. A velocidade de corte, também deve ser ajustada para obter-se uma superfície de corte ideal. O Quadro 3, apresenta alguns parâmetros de velocidade em relação ao diâmetro do furo.

**Quadro 3:** Velocidade de corte espessura x diâmetro do furo

Material	Espessura	Diâmetro do Orifício(mm)	Corrente (A)	Velocidade de Corte (mm/s)
<b>Alumínio</b> (N2 e Ar com adição de H2 ou O2 com vazões de 45 a 100 l/min)	6	3,2	300	127
	13	3,2	250	86
	25	4	400	38
	51	4	400	9
	102	4,8	450	5
<b>Aço Inoxidável</b> (N2 e Ar com adição de J2 ou O2 com vazões de 45 a 100 l/min)	6	3,2	300	86
	13	3,2	300	42
	25	4	400	21
	51	4,8	500	9
	102	4,8	500	3
<b>Aço Inoxidável</b> (Ar comprimido ou N2 com adições de H2 ou O2 com vazões de 90 a 140 l/min)	6	3,2	275	86
	13	3,2	275	42
	25	4	425	21
	51	4,8	550	11

Fonte: FERREIRA, (2017).

Como o processo de corte a plasma, é gerado uma concentração de calor por parte do arco elétrico durante o corte, é notado que, as regiões básicas formadas pela entrada de calor na peça no processo de corte são: Zona Termicamente Afetada (ZTA), que é a região do metal não fundida pelo calor, mas que teve sua microestrutura e/ou propriedades alteradas; e o Metal Base (MB), que

é a região mais afastada do ponto onde ocorre o processo e que não é afetada por ele (MARQUES, MODENESI e BRACARENSE, 2011). A ZTA varia suas características de acordo com o tipo de metal base e do ciclo térmico do processo de corte. A ZTA possui três regiões: região de crescimento de grão, refino de grão e região Inter crítica (WAINER, BRANDI e MELLO, 2010).

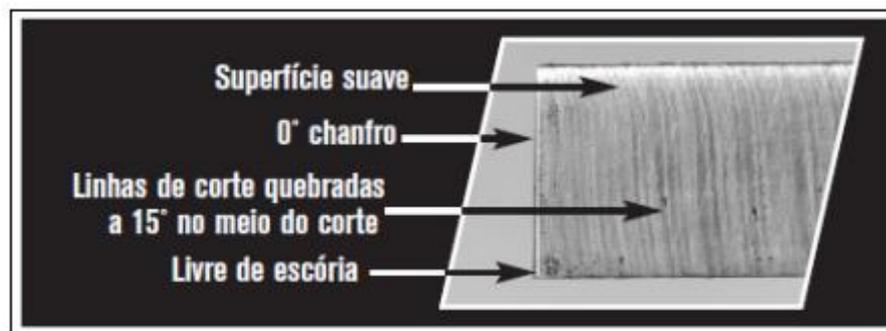
A região de crescimento de grão é a região que se encontra mais próxima de onde ocorreu o processo, na qual a temperatura chegou a cerca de 1200°C. Neste local, a austenita sofre um grande crescimento de grão. A estrutura final dependerá da quantidade de carbono e de elementos de liga, da velocidade de resfriamento e do tamanho do grão austenítico, geralmente sendo composta por ferrita em placas na presença de bainita. Grãos maiores dificultam a transformação durante o resfriamento, aumentando a possibilidade de formação de martensita, isto é, aumentando a temperabilidade do aço. Para condições de corte que apresentam um resfriamento mais rápido e aços com maior teor de carbono ou elementos de liga, pode-se resultar em uma formação completa de martensita nesta região (MARQUES, MODENESI e BRACARENSE, 2011).

A região de refino de grão é a região na qual a temperatura chega entre 900 e 1200°C. Após o processo, essa região geralmente apresenta uma estrutura fina de ferrita e perlita (MARQUES, MODENESI, E BRACARENSE, 2011). A região inter crítica é a região que a temperatura mais alta varia entre 727°C onde ocorre a transformação parcial do metal base, pois somente uma parte do metal base é austenitizado (MARQUES, MODENESI e BRACARENSE, 2011).

De acordo com OLIVEIRA (2007), sob o ponto de vista metalúrgico normalmente as análises se concentram nos efeitos oriundos da zona termicamente afetada (ZTA) caracterizados pelo nível de dureza, formação de trincas, bem como nos efeitos térmicos sobre as peças cortadas, tais como, deformações térmicas e tensões residuais.

Para avaliar as peças cortadas termicamente, deve-se embasar-se em normas, desta forma consegue-se determinar os limites de aceitação do processo e assim definir as tolerâncias admissíveis. Para este processo aplica-se a norma Standard Em ISO 913. Os fatores mais considerados para avaliar a qualidade de corte são: o desvio angular e a rugosidade. Outros fatores que podem também ser considerados na qualidade do corte, são as linhas de arraste e formação de escória (CALÓ, 2013). Na Figura 7 estão representadas regiões típicas do acabamento do corte plasma.

**Figura 7:** Parede cortada com superfície ideal.



Fonte: CALÓ, 2013

Ferreira (2017), pesquisou em seu trabalho as variações dos parâmetros de corte e quais eram suas influências na qualidade de corte. Desde modo investigou que a velocidade de corte é um parâmetro que influencia não somente na ZTA da peça, mas também na superfície cortada e na formação de rebarba. Onde conclui-se que velocidades superiores geram menos rebarbas e linhas de arraste com inclinações mais intensas na região. Obteve também que, quanto menor a velocidade de corte, e o valor da corrente de corte influencia também na ZTA, visto que estes parâmetros são responsáveis pelo aporte da temperatura da peça.

Oliveira (2007), em sua pesquisa sobre a ZTA utilizou uma fonte com capacidade para cortes de até 25 mm de espessura. Os corpos de prova foram definidos nas dimensões 50 mm de largura, 100 mm de comprimento e 15,9 mm de espessura, sendo que os cortes para testes foram realizados ao longo comprimento. Foram utilizadas chapas de aço ABNT 1045 com o objetivo de permitir uma melhor caracterização da influência metalúrgica no corte e permitir comparações com outros trabalhos realizados por Mont'Alvão(1997) com aços ABNT 1020.

**Figura 8:** Corpo de prova com demarcação ZTA



Fonte: OLIVEIRA, 2007

O estudo mostrou que o fator distância teve uma influência significativa na extensão da ZTA (zona termicamente afetada), juntamente com suas interações com a pressão do gás, corrente e velocidade de corte. Em relação ao fator "distância tocha-peça", descobriu-se que a elevação do nível dentro da faixa estudada (de 3,0 mm para 4,5 mm) fazia com que o valor da extensão da ZTA diminuísse. Isso pode ser explicado pelo arco que é criado a partir da tocha, que tem comprimento de corte padronizado. Esta abertura provavelmente está dentro da porção estudada da superestrutura de fronteira.

Em resumo, o estudo destacou a importância da distância entre a tocha e a peça, juntamente com outros fatores como pressão do gás, corrente e velocidade de corte, na determinação da extensão do ZTA e, portanto, na eficácia do processo de corte.

## CONCLUSÕES

Após a realização desse levantamento bibliográfico abordando os principais conceitos até a caracterização dos efeitos de parâmetros de corte, onde é necessária muita atenção. Os parâmetros de corte, são em sua maioria de natureza prática, durante a operação, mas é necessário ressaltar a importância do conhecimento dos conceitos levantados nessa pesquisa, visto que, interferirá diretamente no resultado final da peça.

A tecnologia de corte a plasma, é muito empregada nos processos de fabricação, e deve ser compreendida pelos engenheiros como uma possibilidade real de obter resultados melhores nos processos fabricação. Pois comprovou-se que é altamente produtivo, na qual pode utilizar-se em vários materiais, com muita agilidade e precisão no acabamento, mas também é importante lembrar do controle da ZTA que deve ser analisada e estudada em outros materiais, como por exemplo: aço inoxidável.

## REFERÊNCIAS

CALÓ, E. H. **Estudo comparativo da eficiência entre os processos de corte plasma e laser nos materiais ASTM A36 na espessura de 12mm**. Monografia apresentada ao curso de Pós Graduação em engenharia de soldagem da escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá da tecnologia para obtenção do título de especialista. São Caetano do Sul, 2013.

FERREIRA, M. S. **Corte a plasma; avaliação do efeito da variação dos parâmetros no processo e na qualidade de corte.** Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação de Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Belo Horizonte, BH. CEFET-MG, 2017.

HYPERTHERM. **HyPerformance Plasma, HPR130XD manual gás, revisão 3.** 2015. Disponível em: < <https://www.hypertherm.com/Download?fileId=HYP136504&zip> > Acesso em: 21/02/2023.

HYPERTHERM. **Tipos de plasma.** Disponível em:<<https://www.hypertherm.com/pt/solutions/technology/plasma-technology/types-of-plasma/>. Acesso em: 20/02/2023

LIMA, E. Corte a Plasma. **Revista Soldagem ABS**, v. 2, n. 9, 2006

MARQUES, P. V., MODENESI, P. J., BRACARENSE, A. Q. **Soldagem Fundamentos e Tecnologia.** 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2011.

MESQUITA, Eduardo Luiz Alvares; RUGANI, Léo Lucas. **Conformação dos aços inoxidáveis.** Apostila ACESITA, p. 39, 1997.

MOUGO, CAMPOS, SILVA E ARYDES, 2018. **Estudo da qualidade do corte a plasma automatizado para o aço Aisi 304.** Disponível em: < [https://www.researchgate.net/profile/Felipe-Arydes/publication/329264428\\_ESTUDO\\_DA\\_QUALIDADE\\_DO\\_CORTE\\_A\\_PLASMA\\_AUTOMATIZADO\\_PARA\\_O\\_ACO\\_AISI\\_304/links/5e27652aa6fdcc70a140b953/ESTUDO-DA-QUALIDADE-DO-CORTE-A-PLASMA-AUTOMATIZADO-PARA-O-ACO-AISI-304.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Felipe-Arydes/publication/329264428_ESTUDO_DA_QUALIDADE_DO_CORTE_A_PLASMA_AUTOMATIZADO_PARA_O_ACO_AISI_304/links/5e27652aa6fdcc70a140b953/ESTUDO-DA-QUALIDADE-DO-CORTE-A-PLASMA-AUTOMATIZADO-PARA-O-ACO-AISI-304.pdf).> Acesso em: 22/02/2023.

PIMENTA, S. W. **Estudo Comparativo Entre os Processos de Corte Plasma e Jato D'água para chapa de Aço Inoxidável de 1" Utilizado na Construção de Máquinas Especiais.** 49 f. TCC (Pós Graduação) -Engenharia de Soldagem, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, SP, 2013.

PORTAL METÁLICA. **O processo de corte de metais por plasma.** 2011. Disponível em: <<https://metalica.com.br/oxicorte-equipamentos-de-corte-e-tecnicas-2/>>. Acesso em 20/02/2023.

OLIVEIRA, FABIANO F., COSTA, S.C., PEREIRA, W, X. **Estudo da extensão da zona termicamente afetada no corte por plasma a ar comprimido em o aço 4340.** CREEM, 2007 (Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica). FEMEC/UFU, Uberlândia-MG.

WAINER, E., BRANDI, S. D., MELLO, F. **Soldagem: processos e metalurgia.** São Paulo: Edgard Blucher Ltda, p. 494, 2010.