



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO

Curso de Engenharia Mecânica

EMANUEL FELIPE HENRIQUE SILVA

**CORTE A PLASMA E A JATO DE ÁGUA ABRASIVO: COMPARAÇÃO
ENTRE MÉTODOS E VERIFICAÇÃO DA MICROESTRUTURA EM CHAPAS
DE AÇO ASTM A36**

SÃO LUÍS/MA

2021

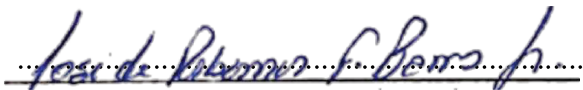
EMANUEL FELIPE HENRIQUE SILVA

**CORTE A PLASMA E A JATO DE ÁGUA ABRASIVO: COMPARAÇÃO
ENTRE MÉTODOS E VERIFICAÇÃO DA MICROESTRUTURA EM CHAPAS
DE AÇO ASTM A36**

Monografia apresentada ao Prof. Dr. Jean Robert P. Rodrigues, como requisito parcial para elaboração do trabalho de conclusão de curso de graduação em Engenharia Mecânica, tendo como orientador o Prof. José de Ribamar Ferreira Barros Júnior.

Orientador: Prof. Me. José de Ribamar Ferreira Barros Junior

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À
VERSÃO FINAL DA MONOGRAFIA
DEFENDIDA PELO ALUNO
EMANUEL FELIPE HENRIQUE
SILVA E ORIENTADA PELO PROF.
ME. JOSÉ DE RIBAMAR FERREIRA
BARROS JUNIOR.

A handwritten signature in blue ink, reading "José de Ribamar Ferreira Barros Jr.", is written over a horizontal dotted line.

ASSINATURA DO(A) ORIENTADOR(A)

SÃO LUÍS

2021

Elaborado por Giselle Frazão Tavares - CRB 13/665

Silva, Emanuel Felipe Henrique.

Corte a plasma e a jato de água abrasivo: comparação entre métodos e verificação da microestrutura em chapas de aço / Emanuel Felipe Henrique Silva. – São Luís, 2021.

... f

Monografia (Graduação) – Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Maranhão, 2021.

Orientador: Prof. Me. José de Ribamar Ferreira Barros Junior.

1.Corte a jato de água. 2.Corte a plasma. 3.Aço ASTM A36. I.Título.

CDU: 621.9.02

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E PRODUÇÃO

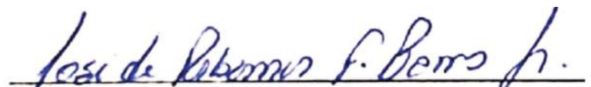
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CORTE A PLASMA E A JATO DE ÁGUA ABRASIVO: COMPARAÇÃO
ENTRE MÉTODOS E VERIFICAÇÃO DA MICROESTRUTURA EM CHAPAS
DE AÇO ASTM A36**

Autor: Emanuel Felipe Henrique Silva


Orientador: Prof. Me. José de Ribamar Ferreira Barros Junior

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Monografia:




Prof. Me. José de Ribamar Ferreira Barros Júnior

Instituição: DEMEC/CCT/UEMA



Prof. Dr. Jean Robert Pereira Rodrigues

Instituição: DEMEC/CCT/UEMA



Prof. Me. Francisma Rodrigues de Sousa

Instituição: DEMEC/CCT/UEMA

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

São Luís/MA, 18 de dezembro de 2021.

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a todas as minhas conquistas ao longo do curso e ao aumento da produção científica para a área da engenharia.

Aos meus pais, Albinete Henrique Silva e Sérgio Henrique Costa Silva, por proporcionarem a estrutura para que eu pudesse ingressar na universidade.

A cada pessoa que esteve ao meu lado ao longo dessa jornada.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Me. José de Ribamar Ferreira Barros Junior, pela oportunidade, confiança e suporte.

Ao aluno da UEMA Denilson Santos Monteiro, por me auxiliar os ensaios realizados no laboratório.

As empresas Metalma Inox & Cia, e a Carrara Mármore e Granitos por terem fornecido seus equipamentos de cortes e serviços para que esse trabalho se aconteça.

A cada professor da instituição UEMA, que contribuíram para minha formação na academia e para a obtenção do conhecimento para ser um profissional de excelência.

RESUMO

Atualmente existem no mercado, diversas formas de cortes metálicos, como corte a laser, a plasma, a oxicorte, a jato de água, entre outros. Cada um desses processos de corte possui suas especificidades, portanto é de suma importância estar ciente de tais características particulares para garantir a escolha do método mais adequado. Neste trabalho almejou-se uma melhor compreensão a respeito dos processos de corte a plasma e a jato de água abrasivo, bem como a análise de um material quando submetido a esses processos de corte. Para o ensaio metalográfico foram feitos os procedimentos de corte do corpo de prova, embutimento, lixamento, polimento, ataque químico e por fim a análise por microscópio ótico para obtenção dos dados do estudo. O material utilizado foi o aço ASTM A36 que é um material bem comum em estruturas metálicas no geral. As estruturas da peça cortadas a frio possuíam grãos quase que completamente ferríticos com pouca perlita, porém no corte a plasma, onde foram feitos os cortes, notou-se um maior aparecimento de perlita na peça. No ponto de vista econômico, em linhas gerais o plasma se sobressai visto que possui uma velocidade de corte maior, menor custo por peça, porém a capacidade do jato de água abrasivo de criar cortes tão limpos e precisos os tornam indispensáveis para cortes que necessitam dessas requisições como criação de ferramentas médicas ou pequenas peças moveis.

Palavras Chave: Corte a jato de água, Corte a Plasma, Aço ASTM A36.

ABSTRACT

Currently, there are several forms of metal cuts on the market, such as laser cutting, plasma cutting, oxyfuel cutting, water jet cutting, among others. Each of these cutting processes has its specificities, so it is extremely important to be aware of these particular characteristics to ensure the choice of the most suitable method. In this work, the aim was to gain a better understanding of the processes of plasma and abrasive waterjet cutting, as well as the analysis of a material when submitted to these cutting processes. The material used was ASTM A36 steel which is a very common material in metallic structures in general. For the metallographic test, the procedures of cutting the specimen, embedding, sanding, polishing, chemical etching were carried out and, finally, the analysis by optical microscope to obtain the study data. The cold cut structures of the piece had almost completely ferritic grains with little pearlite, but in the plasma cut, where the cuts were made, there was a greater appearance of pearlite in the piece. From an economic point of view, in general terms, plasma stands out as it has a higher cutting speed, lower cost per part, but the ability of the abrasive waterjet to create such clean and precise cuts makes them indispensable for cuts that need these requests such as creating medical tools or small moving parts.

Keywords: Waterjet Cutting, Plasma Cutting, ASTM A36 Steel.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Mecanismo genérico de uma caneta a plasma.....	19
Figura 2.2 – Conjunto de dispositivos para corte a jato de água abrasivo.....	21
Figura 2.3 – Mecanismo genérico de uma cabeça de corte a jato de água abrasivo.....	21
Figura 3.1 – Chapa de aço ASTM A36.....	22
Figura 3.2 – Chapa de A36 seccionada em oito partes.....	22
Figura 3.3 – Máquina de corte PowerCut1500.....	24
Figura 3.4 – Processo de corte a plasma.....	25
Figura 3.5 – Máquina de corte DWJ3020-BB.....	26
Figura 3.6 – Processo de corte a jato de água abrasivo.....	27
Figura 3.7 – Acompanhamento do processo de corte pelo operador.....	27
Figura 3.8 – Face interna ao corte a jato de água abrasivo a olho nu.....	28
Figura 3.9 – Face interna ao corte a plasma a olho nu.....	28
Figura 3.10 – Cortadora metalográfica Arotec Arocor 40.....	30
Figura 3.11 – Embutidora metalográfica Teclago EM30D.....	31
Figura 3.12 – Lixadeira metalográfica manual Teclago LM-04.....	32
Figura 3.13 – Polimento manual com alumina.....	33
Figura 3.14 – Álcool etílico.....	34
Figura 3.15 – Solução de ácido nítrico.....	34
Figura 3.16 – Amostra sendo imersa em nital 2%.....	35
Figura 3.17 – Amostra sendo analisada no microscópio óptico.....	36
Figura 4.1 – Microestrutura de base do aço A36 com aumento de 100 vezes.....	37
Figura 4.2 – Microestrutura do aço A36 cortado com jato de água abrasivo com aumento de 100 vezes.....	38
Figura 4.3 – Microestrutura do aço A36 cortado com jato de água abrasivo com aumento de 500 vezes.....	38
Figura 4.4 – Microestrutura do aço A36 cortado com jato de água abrasivo próximo a superfície cortada com aumento de 50 vezes.....	39
Figura 4.5 – Microestrutura do aço A36 cortado com jato de água abrasivo com aumento de 1000 vezes.....	39
Figura 4.6 – Microestrutura do aço A36 cortado a plasma com aumento de 100 vezes.....	40

Figura 4.7 – Microestrutura do aço A36 cortado a plasma com aumento de 500 vezes.....	41
Figura 4.8 – Formação de bainita no aço A36 cortado a plasma com aumento de 1000 vezes.....	41
Figura 4.9 – Formação de focos de cementita no aço A36 cortado a plasma com aumento de 500 vezes.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Composição química do aço ASTM A36.....	23
Tabela 3.2 – Propriedades Mecânicas do aço ASTM A36.....	23
Tabela 3.3 – Propriedades Mecânicas do aço ASTM A36.....	26
Tabela 4.1 – Comparativo entre os processos de corte.....	42

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CCC	Cúbico de Corpo Centrado
CNC	Controle Numérico Computadorizado
EPI	Equipamento de Proteção Individual
LABEMM	Laboratório de Ensaios Mecânicos e Metalografia
MET	Microscópio Eletrônico de Transmissão
MEV	Microscópio Eletrônico de Varredura
SiC	Carbeto de Silício TIG – <i>Tungsten Inert Gas</i>
UEMA	Universidade Estadual do Maranhão

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REVISÃO TEÓRICA.....	14
2.1	Chapas de Aço A36l.....	14
2.2	Constituintes estruturais de estabilidade dos aços.....	15
2.3.	Definição do processo de corte a plasma.....	17
2.3.1	Elementos do corte a plasma.....	18
2.3.2	Difusor de gás.....	19
2.3.3	Bico, Eletrodo e Capa.....	19
2.4	Definição do processo de corte a jato de água abrasivo.....	20
2.4.1	Elementos do corte a jato de água abrasivo.....	20
3	METODOLOGIA.....	22
3.1	Etapas do Estudo.....	23
3.2	Procedimento do corte a plasma.....	24
3.3	Procedimento do corte a jato de água abrasivo.....	25
3.4	Pré-análise da região de corte.....	28
3.5	Ensaio metalográfico.....	28
3.5.1	Corte dos Corpos de Prova.....	29
3.5.2	Embutimento.....	30
3.5.3	Lixamento Metalográfico.....	31
3.5.4	Polimento.....	32
3.5.5	Ataque Químico.....	33
3.5.6	Observação por microscópio.....	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
4.1	Metal de base.....	37
4.2	Microestrutura para corte a jato de água abrasivo.....	37
4.3	Microestrutura para corte a plasma.....	40
4.4	Estudo Comparativo.....	42
5	CONCLUSÃO.....	44
6	SUGESTÃO PARA UM TRABALHO FUTURO.....	45
	REFERÊNCIAS.....	46

1 INTRODUÇÃO

Segundo Modenesi e Marques (2000), empresas estão sempre buscando produtividade com acabamento e menor custo, o conhecido custo-benefício, portanto todos os processos têm suas limitações e seus benefícios, principalmente em função do tipo e espessura do material. Pode-se considerar, em linhas gerais, que os processos de corte têm função inversa a realizada na soldagem, ou seja, a separação de uma peça em demais peças. Modenesi e Marques (2000) ainda afirmam que os processos de corte podem ser classificados em dois grandes grupos, os considerados processos análogos a soldagem, logo, processos de corte térmico que são baseados na aplicação localizada de calor na peça e os processos de corte a frio que se baseiam na deformação localizada do material.

Os processos de corte são fundamentais para a tecnologia de soldagem uma vez que a construção de um componente soldado é fabricada por peças inicialmente separadas, para a preparação de tais peças, comumente são usados os processos de corte. Processos de corte também são muito utilizados na remoção de material com objetivo eliminar defeitos detectados em componentes fundidos ou soldados (MODENESI; MARQUES, 2000).

Os processos de corte térmico apresentam características de operação muito similares às de processos de soldagem por fusão. Ambos realizam o corte de uma peça aplicando calor focalizado para fusão e eventual vaporização de uma região restrita desta peça acompanhado de uso de um jato de gás com intuito de remover o material da região de corte (MODENESI; MARQUES, 2000).

O corte a frio é mais seguro, pois não é utilizado substâncias inflamáveis ou o uso de altas temperaturas. No corte a frio, também não são alteradas as propriedades metalúrgicas do metal, assim tem benefícios na junta final. Existem casos em quais são necessários reparos em tubulações de produtos inflamáveis (gases, petróleo, combustíveis, entre outros) e, por mais que haja um cuidado em deixar a área de ação completamente inerte, podem restar resquícios de substâncias inflamáveis, gerando enormes riscos de incêndio e explosão. Nesses casos, o uso de corte a frio é obrigatório (ALUMAQ, 2019).

Este trabalho deseja-se apresentar de forma clara e objetiva uma análise e comparação das microestruturas do corte realizado por plasma e a jato de água no aço

A36 em chapa, assim como a viabilidade econômica dos dois processos de corte. Para a análise, será empregado a técnica de estudo por meio da metalografia.

Assim como a análise química, a metalografia é uma das ferramentas primordiais utilizadas no controle de qualidade e aperfeiçoamento dos processos metalúrgicos. A análise metalográfica permite identificar as alterações na microestrutura do material devido a tratamentos térmicos, conformação mecânica, variações na composição química e taxa de resfriamento do material. Existem várias possibilidades de averiguação de microestruturas, mas uma das técnicas mais utilizado é a avaliação por microscópio (CALLISTER, 2006).

Apesar dos estudos dos métodos de corte a plasma e corte a jato de água já terem certo repertório acadêmico e científico, estes métodos costumam a ter diversos aprimoramentos tecnológicos a prazos relativamente curto. Se faz necessários testes sempre atualizados para ser empregado o método mais adequado para a situação, assim otimizando a produção de peças usinadas de boa qualidade que supra as necessidades do mercado, desde uso comercial a civil.

2 REVISÃO TEÓRICA

Este tópico visa explicar sobre os conceitos de chapa de aço A36, constituintes estruturais de estabilidade do aço, processo de corte a plasma e processo de corte a jato de água.

2.1. Chapas de Aço A36

Aços são ligas ferro carbono com teor de carbono de até 2,1 % em sua estrutura. É, sem dúvida, o material mais amplamente empregado na fabricação de bens de consumo e bens de produção, nas indústrias, veículos automotores, na fabricação de máquinas, na construção civil. O aço é utilizado de variadas formas pois é bem versátil, desde um alfinete até tanques de armazenamento de combustível a equipamento bélico. Além disso as ferramentas, necessárias para construir e fabricar esses itens, são também fábricas em aço (TSCHIPTSCHIN, 2011).

Como indicação de importância relativa deste material, a produção mundial de aço em 2009 foi 1,220 bilhão de toneladas, enquanto a produção de alumínio, segundo metal em produção foi de somente 38 milhões de toneladas (TSCHIPTSCHIN, 2011).

Os números de produção, se deve as propriedades mecânicas e químicas. O aço-carbono é uma liga de constituição ferrosa majoritariamente de ferro e carbono comuns, podendo conter elementos residuais provenientes do processo de fabricação. A composição dos aços mais comuns do mercado podem indicar a constituição a presença de fósforo, manganês, silício e enxofre (CHIAVERINI, 1996; HASAN, 2016).

Existe uma pluralidade de aços variando pela forma, uniformidade e tamanho dos grãos que o compõe, e por sua composição química. Sendo que esta pode ser alterada em detrimento de sua aplicação final, obtendo-se por meio da adição de elementos químicos, aços com diferentes graus de resistência mecânica, ductilidade, soldabilidade, resistência a corrosão entre outros. Em suma, os aços possuem excelentes propriedades mecânicas como boa resistência à tração e compressão, pode ser laminado, forjado, estriado, estampado e suas propriedades podem ser modificadas por tratamentos químicos ou térmicos (FERRAZ, 2003).

O aço ASTM A36 é um material padronizado pela ASTM, abreviatura para American Society for Testing and Materials (Sociedade Americana de Testes e Materiais), e segundo a norma ASTM-A36 tem como característica o aço-carbono com finalidade de utilização estrutural e em aplicações comuns.

O aço ASTM A36 é comumente utilizado, no setor automotivo, nas construções de edifícios residenciais ou comerciais nas construções de galpões, estruturas de apoio ou ainda na fabricação de tubos. É normalmente empregado em conjunto com outras tipologias de aço, como no caso de tabuleiros de pontes e edifícios de múltiplos andares. As cantoneiras como elementos de ligação de chapas de gusset, são largamente utilizadas nesse tipo de aço, o que pode levar ao projeto de soldagem entre aços dissimilares. (BAJARES, 2015).

De acordo com a Compraço (2019), uma das grandes distribuidoras de aços, a chapa de aço A36 é uma das mais populares chapas de aço laminado a quente e de baixo carbono que é das mais utilizada em projetos de fabricação, manufatura e reparo. A36 é a chapa de aço que possui força e rigidez necessitárias com o melhor custo-benefício para a maioria dos projetos.

As demais qualidades do aço A36 é uma excelente soldabilidade, maleabilidade e usinabilidade, e por tais qualidades, sem dúvidas a chapa de aço ASTM A36 é um dos aços estruturais de carbono mais empregados na indústria.

2.2. Constituintes estruturais de estabilidade dos aços

A ferrita é uma fase do aço que possui estrutura CCC. Se forma por meio de resfriamento lento do campo austenítico, que permite a difusão dos átomos. A temperatura do ambiente, ferro puro ou aços que contenham concentração de carbono de até de 0,002% (abaixo do limite de solubilidade da cementita) apresentam somente a fase ferrita, estes geralmente apresentam baixa dureza (COLPAERT, 2008).

A ferrita apresenta-se nos aços como constituinte e misturada com a cementita para formar parte da perlita. Se o aço é muito pobre em carbono, sua estrutura está formada quase que totalmente por grãos de ferrita cujos limites podem ser revelados facilmente com microscópio, depois de um ataque de ácido nítrico diluído, os grãos são equiaxiais.

A cementita é uma fase do aço que possui estrutura ortorrômbica. Se forma por meio do resfriamento relativamente lento do campo austenítico. A temperatura ambiente, aparece quando a solubilidade do carbono na ferrita é excedida, ou seja, ultrapassa 0,002% (COLPAERT, 2008).

A cementita é o carboneto de ferro metaestável Fe_3C . sua estrutura ortorrômbica, contendo 6,667% de carbono. A cementita é extremamente dura (650 Brinell), este aço de alto carbono apresentam elevada dureza e resistências, assim como menor ductilidade, e é ferromagnético. A cementita apresenta-se sob forma de rede branca (contornando os grãos de perlita) quando atacados com Nital (COLPAERT, 2008).

A austenita é uma fase com estrutura CFC observadas acima da temperatura de recristalização. Apresenta, sem a presença de elementos gamagênicos, estabilidade somente em temperaturas elevadas, logo só é observável em equipamentos que possam operar a altas faixas de temperatura (COLPAERT, 2008). Há técnicas metalográficas alternativas que são capazes revelar contornos de grão da austenita que existia antes de o material se transformar (COLPAERT, 2008).

Quando o aço é aquecido acima de 732 graus célsius, os átomos reagrupam-se para formar a austenita. Esta solução sólida é facilmente manipulada a temperaturas extremas e resiste a corrosão, estas propriedades tornam a austenita adequada para a fabricação de equipamentos, produção de instrumentos médicos e para aplicações arquitetônicas (PACHECO, 2012).

A perlita é estruturada por lamelas intercaladas das fases cementita e ferrita. Surge a partir do equilíbrio eutetóide entre ferrita, cementita e austenita, a 723 graus célsius, a sua formação se dar por meio do mecanismo difusional a qual inicialmente ocorre o deslocamento de átomos de carbono para uma região, levando a surgimento de uma fina lamela de cementita.

Bainita é um produto de difusão isotérmica que se forma quando um aço é resfriado em um limiar de temperatura intermediária entre a de formação da perlita e da martensita. Do mesmo modo que a perlita, a bainita forma-se quando a austenita γ se transforma em ferrita δ e cementita Fe_3C . A bainita preserva algumas das características do crescimento controlado por difusão da perlita e algumas das características da transformação martensítica, isto é, a bainita é uma formação intermediária entre perlita e a martensita, tendo certas características das duas (DARDI, 2021).

Como consequência concentração de átomos de carbono na região ao redor dessa lamela que se formou diminuiu, se tornando inferior ao limite de solubilidade da ferrita, formando assim esta fase. (COLPAERT, 2008).

2.3. Definição do processo de corte a plasma

O processo de corte a plasma originou-se na década de 50, porém atualmente destaca-se como um dos mais importantes métodos de corte de metais. Lima menciona os percalços no desenvolvimento dessa tecnologia de corte devido à elevada perda de consumíveis e dos sistemas em geral, além do próprio ângulo de corte e de algumas inconsistências no processo. (LIMA, 2006)

Lima (2006) descreve o processo de corte a plasma como sendo a utilização do calor liberado por uma coluna de plasma, resultante do aquecimento, por meio de um arco elétrico, de um gás em alta vazão rotacional. Este é ejetada sobre o metal, fundindo a parte do metal em contato com o plasma, o metal líquido é expulso da poça de fusão por meio da injeção de algum gás em alta vazão. O corte a plasma é o que método tem maior ascensão no mercado por causa da sua velocidade e precisão no corte, foi aprimorado ao decorrer do tempo e continua como um dos principais métodos de corte dos metais.

Os plasmas manuais mais modernos são equipados com sistema de jato coaxial de ar, que constringe ainda mais o plasma aumentando a profusão do gás no processo, possibilitando um corte mais rápido e com menos ângulo.

Nos sistemas mecanizados, são comumente acoplados em manipuladores XYZ, controlado por controles numéricos, foram inseridas tecnologias que aumentam a consistência do processo e estende a vida útil dos componentes consumíveis por meio de um controle mais eficiente dos gases e do sistema de resfriamento. (LIMA, 2006).

Há dois métodos para iniciar o processo de corte, penetrando a peça pelo meio ou pelos cantos da peça. A iniciação do processo pelos cantos da peça é preferível, pois dessa maneira há proteção da tocha, porém em alguns casos, devido a geometrias, não há maneira de evitar a iniciação do processo pelo meio da peça. (NEMCHINSKY; SEVERANCE, 2006).

O equipamento usado consiste em uma fonte de energia, tocha de corte, fonte de gases, unidade de controle e fonte de água (em equipamentos que utilizam a água como

fonte de proteção). Em caso de corte mecanizado adicionamos dispositivos de deslocamento da tocha (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2011).

O processo de corte a plasma possui particularidades que podem ser complementares para serviços singulares. Os gases do plasma são: nitrogênio, ar comprimido, oxigênio ou argônio/hidrogênio, usados para cortar aços de liga leve e alta liga de alumínio, cobre e outros metais e ligas (ALUSOLDA, 2018).

No processo de corte a plasma os equipamentos trabalham com altas temperaturas, o que provoca grande zona afetada pelo calor (ZAC) o que obriga que no processo seja utilizado operações secundárias de acabamento. Pode-se ocorrer conicidade nas bordas em função da velocidade, tipo de material e espessura (PIMENTA, 2013).

2.3.1. Elementos do corte a plasma

O equipamento usado consiste em uma fonte de energia, tocha de corte, fonte de gases, unidade de controle e fonte de água (em equipamentos que utilizam a água como proteção). Em caso, de corte mecanizado é adicionado um dispositivo de curso da tocha (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2011).

Segundo Lima (2006), a tocha além de servir como sustentação para os consumíveis como o difusor, o bico e o eletrodo, ela fornece um fluido cuja função essencial é a de refrigeração do conjunto, dessa forma aumentar sua vida útil. O elemento refrigerante fornecido pode ser um gás ou a água.

As tochas podem ser para o corte manual ou mecanizado, possuem um ou mais orifícios com vários diâmetros, que dependerão da capacidade e da técnica usada. As tochas para corte mecanizado possuem maior capacidade (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2011). A Figura 2.1 ilustra bem o mecanismo de uma caneta a plasma.

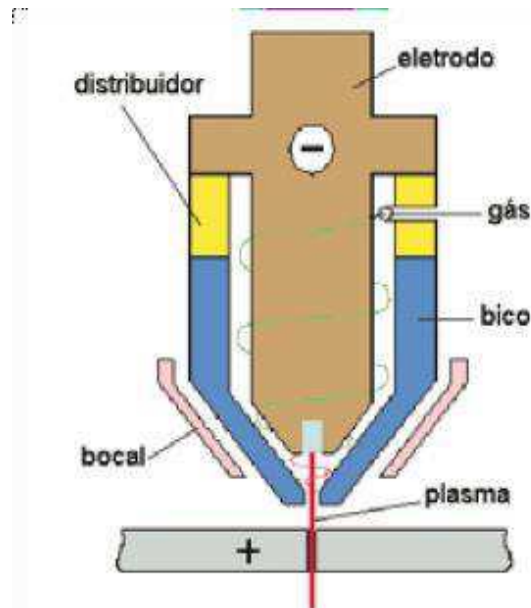


Figura 2.1 – Mecanismo genérico de uma caneta a plasma (Adaptado de Lima, 2006).

2.3.2. Difusor de gás

De acordo com Lima (2006) o difusor de gás é feito de material isolante e tem como objetivo de dar sentido rotacional ao gás, Joaquim e Ramalho (1996) ainda reforçam a necessidade do sentido rotacional. Esse sentido rotacional aumenta, assim a contração do arco e por isto aumenta a temperatura.

2.3.3. Bico, Eletrodo e Capa

O eletrodo conduz a corrente até um inserto de háfnio que emite elétrons para geração de plasma. O bico constringe o plasma e o guia para o metal a ser cortado. A capa tem função manter os consumíveis alinhados e isolar a parte elétrica do bocal frontal. O bocal frontal guia o fluxo de jato de ar coaxial. Por ser refrigerado e isolado, o bocal poder apoiado a chapa (LIMA, 2006).

2.4. Definição do processo de corte a jato de água abrasivo

Diferindo da máquina de corte a plasma, o corte a jato de água é um método de corte mecânico que implica em um fluxo de água em alta velocidade e alta pressão para realizar o corte de peças. O corte com jato de água além da utilização do fluido, pode ser associado a um abrasivo (MEGAPLASMA, 2000).

Inicialmente, a água é submetida a uma pressão de 4.000 a 6.500 bars e depois de pressurizada passa através de um orifício de diâmetro extremamente pequeno (de 0,08 a 0,4 mm). A velocidade do jato de água, em função da pressão, pode alcançar 1.200 m/s. As partículas de água ejetadas que atingem a superfície do material o cortam de maneira limpa e precisa. A adição de um abrasivo é recomendada para cortar materiais duros, metálicos em particular (ALMACAM, 2021).

As principais vantagens do corte a jato de água são a nitidez do corte que evita rebarbamento, precisão de corte extremamente refinada na escala de décimo de milímetro, ausência de deformação, rapidez de corte e principalmente por se tratar de um processo a frio, mantêm as propriedades estruturais e mecânicas do material a ser cortado (ALMACAM, 2021). Adicionar abrasivo ao fluxo do jato de água supersônico aumenta a força de corte em milhares de vezes.

Para evitar a passagem de lama através da bomba, o abrasivo é mantido limpo e seco em um funil de transferência em massa e é adicionado ao cabeçote de corte no último segundo antes da ejeção da água. Depois que está no cabeçote de corte, o abrasivo é acelerado pela água e lançado para fora do tubo em alta velocidade. Um jato de água abrasivo, portanto, é uma mistura de água, abrasivo e um pouco de ar. O processo usa aproximadamente um galão de água por minuto (3,8 l/min) e uma libra de abrasivo por minuto (0,45 kg/min.). Os tamanhos dos grãos de abrasivo variam de 50 a 220 malhas de granada, mas o mais comum é o de 80 malhas (BURNHAM, 2015).

2.4.1. Elementos do corte a jato de água abrasivo

Para a execução do corte a jato de água a velocidade supersônica são necessária uma bomba para comprimir a água a altas pressões e direcioná-la para a cabeça de corte, o abrasivo é armazenado separadamente e regulado a parte para evitar formação de lama

dentro do conjunto, o conjunto é gerenciado por um controlador, assim como o corte a plasma, a cabeça de corte é guiada sobre uma mesa de corte XYZ por um cursor. O conjunto é ilustrado na Figura 2.2.

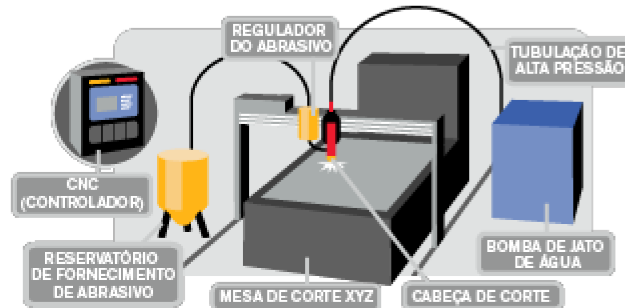


Figura 2.2 – Conjunto de dispositivos para corte a jato de água abrasivo (Adaptado de Hypertherm, 2021).

A cabeça de corte é projetada de tal forma que a mistura da água com o abrasivo é feita apenas aproximada saída, para evitar formação de lama que pode prejudicar o funcionamento dos componentes internos da cabeça de corte que está devidamente expresso no esquema da Figura 2.3 (BURNHAM, 2015).

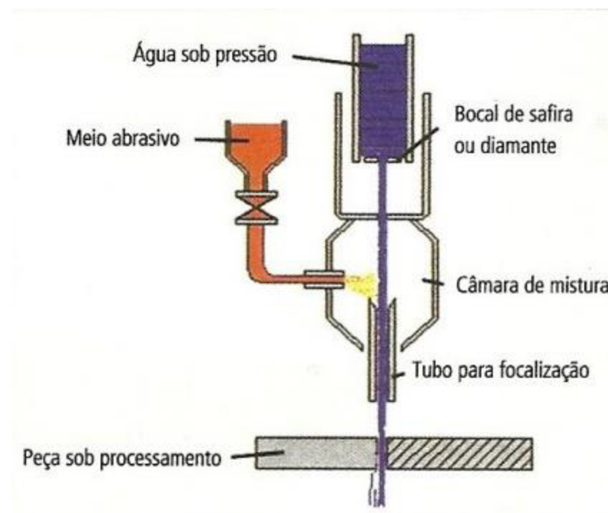


Figura 2.3 – Mecanismo genérico de uma cabeça de corte a jato de água abrasivo (Adaptado de Pimenta, 2013).

3 METODOLOGIA

Inicialmente foram realizadas pesquisas bibliográficas sobre os processos de corte a plasma e a jato de água abrasivo. Após adquirir os conhecimentos teóricos, foram planejados os experimentos com os devidos equipamentos de proteção individual, nos dando segurança para se prosseguir os estudos almejados.

O metal utilizado para a realização dos cortes foi o aço ASTM A36 como pode ser visto na Figura 3.1 em forma de chapa laminar a quente com as seguintes dimensões 200 x 150 x 2 mm. Classificado como um aço de média resistência mecânica. Posteriormente essa chapa foi seccionada em oito partes iguais de aproximadamente 25 mm de largura, 4 cortes feitos a jato de água abrasivo e 3 cortes a plasma respectivamente, cortando a chapa de ponta a ponta como é exibido na Figura 3.2 e serão especificados posteriori.



Figura 3.1 – Chapa de aço ASTM A36 (Autor, 2021).



Figura 3.2 – Chapa de A36 seccionada em oito partes (Autor, 2021).

As Tabelas 3.1 e 3.2 apresentam a estipulação, respectivamente, composição química e as propriedades mecânicas para o aço ASTM A36, estabelecidos pela norma ASTM A36.

Tabela 3.1 – Composição química do aço ASTM A36 (Adaptado da Norma ASTM A36, 2008).

Composição Química (%)					
C máximo	Mn	P máximo	S máximo	Si máximo	Cu mínimo
0,28	0,6 – 0,9	0,04	0,05	0,4	0,2

Tabela 3.2 – Propriedades Mecânicas do aço ASTM A36 (Adaptado da Norma ASTM A36, 2008).

Propriedades Mecânicas	
Limite de escoamento	250 Mpa
Limite de ruptura	400 - 550 Mpa
Alongamento	23%

3.1. Etapas dos estudos

As etapas desenvolvidas na análise experimental foram iniciadas em novembro de 2021 com as definições e realizações dos processos de corte e por último a determinação das análises metalográficas para levantamentos de dados. As etapas foram:

- Escolha e obtenção do material
- Caracterização do material da chapa
- Procedimento de corte a plasma e corte a jato de água abrasivo
- Pré-análise das regiões de corte
- Corte e preparação das amostras para o ensaio metalográfico
- Análise das amostras
- Levantamento de dados
- Análise dos resultados

A seguir estão detalhadas as etapas do experimento, ou seja, os procedimentos de cortes e o ensaio metalográfico. Os experimentos foram realizados no Laboratório de Ensaios Mecânicos e Metalografia – LABEMM, da Universidade Estadual do Maranhão, na Metalma Inox & Cia, e na Carrara Mármore e Granitos.

3.2. Procedimento do corte a plasma

Utilizou-se para o corte a plasma o conjunto para corte a plasma manual e mecanizado ESAB PowerCut-1500. A ESAB tem soluções e equipamentos inovadores reconhecidos internacionalmente, são desenvolvidos com a participação de seus clientes, e construídos com a expertise e a experiência de um líder global.

A fonte PowerCut-1500 é um sistema de corte a plasma compacto e completamente independente. O sistema vem montado de fábrica e pronto para cortar depois de ser conectado à rede elétrica e a uma fonte de ar comprimido (90-150 psi/6,2-10,3 bar). O conjunto PowerCut-1500 utiliza a tocha para serviço pesado PT-32EH (plasma manual) proporcionando o corte de materiais de até 1,5 polegada (38,1 mm) de espessura para a PC-1250 e 1,75 polegada (45 mm) de espessura para a PC1500. Um exemplar do modelo se apresenta na Figura 3.3.



Figura 3.3 – Máquina de corte PowerCut1500 (Autor, 2021).

Antes de ter iniciado a operação de corte, foram tomados os devidos cuidados, pois uma vez iniciada a operação, a mesma deve continuar até completar o objeto. Interrupções são indesejadas, pois podem interferir na qualidade do trabalho, o operado estava utilizando os devidos EPIs para a execução do trabalho como avental de couro para se

proteger das fagulhas e máscara de solda, pois como é um processo análogo a solda, se faz necessária para proteger da incandescência das fagulhas do processo.

Em linhas gerais o corte manual a plasma se faz relativamente simples, porém requer destreza do operador, pois quer a habilidade manual de direcionar a chama, além de que manter a chama em um ponto de foco pode fundir a peça ou abrir uma entrada de corte maior que o ideal.

Durante o processo na Figura 3.4, a peça foi apoiada sob a máquina e foram executados três cortes longitudinais na mesma.



Figura 3.4 – Processo de corte a plasma (Autor, 2021).

3.3. Procedimento do corte a jato de água abrasivo

Utilizou para o corte a jato de água abrasiva a máquina DARDI DWJ3020-BB. A Dardi International Corporation, ocupando uma posição de liderança na China com influência global, é uma empresa de alta tecnologia especializada em P&D, fabricação, vendas e serviço técnico de produtos de aplicação de tecnologia de jato de água de ultra alta pressão. A base da DWJ3020-BB é fabricada em aço especial, muito rígido e forte. Os fusos de esfera dos eixos X, Y, V e Z garantem a estabilidade do projeto e precisão da máquina. A precisão de $\pm 0,1$ mm, e repetibilidade de $\pm 0,03$ mm é facilmente mantida devido ao design de fabricação da máquina DARDI.

O patim tem uma alta capacidade de carga, devido ao sistema de quatro fileiras de esferas dispostas em um ângulo de contato de 45 graus, a forma de guia linear tem classes

iguais de carga nas direções radial e lateral radiais, reversas. Os patins que a DARDI usa tem uma maior capacidade de carga em um menor espaço, comparado com os patins lineares convencionais. A máquina é vista na Figura 3.5.



Figura 3.5 – Máquina de corte DWJ3020-BB (Autor, 2021).

As especificações técnicas da máquina de corte a jato de água abrasivo estão presentes na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Propriedades Mecânicas do aço ASTM A36 (Adaptado de DARDI, 2021).

Área de corte (Opções)	4000X2000 mm / 4000X2000 mm / 3000X2000 mm
Abertura do Eixo Z	170 mm
Precisão de Posicionamento Linear	+/- 0,1 mm
Repetibilidade	+/- 0,03 mm
Ângulo de Corte	+/- 0 a 60º
Controle de Conicidade	Automático
Precisão de Posicionamento Angular	+/- 0,1º
Veloc. Máx. Contorno	5m/min

Máxima velocidade	20m/min
-------------------	---------

Inicialmente a chapa de aço A36 é posicionada sobre a base da máquina e fixada por duas placas para manter a peça estática durante o processo de corte, logo a pois é posicionado a cabeça do corte sobre a peça e em seguida o processo de corte é iniciado, representado na Figura 3.6.



Figura 3.6 – Processo de corte a jato de água abrasivo (Autor, 2021).

Foram feitos quatro cortes longitudinais na chapa de aço, previamente foi feito uma averiguação da cabeça de corte para verificar se não havia acumulo de lama nas tubulações que pode ser formar devido ao abrasivo a base de areia ao longo da vida de uso da máquina. Também se faz necessário, mesmo o processo sendo automático, o acompanhamento do processo como mostra a Figura 3.7, para que caso ocorra um erro o processo seja parado.

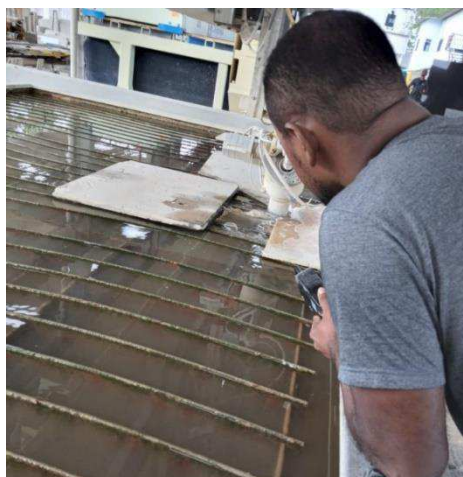


Figura 3.7 – Acompanhamento do processo de corte pelo operador (Autor, 2021).

Todo o processo de corta a jato de água abrasivo foram encomendados e executados pela equipe da Carrara Mármore e Granitos.

3.4. Pré-análise da região de corte

Ao analisar as faces internas aos cortes a plasma e a jato de água abrasivo, é nítida a diferença das formações, a face do processo a jato de água abrasivo apresenta pouca deformidade e um aspecto visual bem similar a superfície não cortada como é visto na Figura 3.8, logo, não é esperado grandes alterações na estrutura do material.



Figura 3.8 – Face interna ao corte a jato de água abrasivo a olho nu (Autor, 2021).

Já a face interna ao corte do processo a plasma apresenta um alto grau de deformidade, inclusive a formação de escória, além disso ouve alteração da cor do metal, indicando uma zona afetada pelo calor, que é esperado de um corte a quente como o plasma, todos esses detalhes são vistos na figura 3.9, logo, é esperando certa alteração na estrutura do material.



Figura 3.9 – Face interna ao corte a plasma a olho nu (Autor, 2021).

3.5 Ensaio metalográfico

Foram feitos os ensaios metalográficos na peça que foram submetidas aos processos de cortes a plasma e corte a jato de água abrasivo. A preparação para os corpos de prova para os ensaios metalográficos exige um procedimento rigoroso para que nada influencie os resultados reais das microestruturas.

As nossas amostras são de grande importância pois são a parte do material com forma e dimensões específicas da superfície a ser analisada. O ensaio metalográfico busca relacionar a estrutura íntima do material com suas propriedades físico-mecânicas, com o processo de fabricação, com o desempenho de suas funções e outros.

3.5.1 Corte dos Corpos de Prova

Foram feitos cortes dos corpos de prova transversalmente, levando em conta uma margem de 20 mm do início da inserção dos cortes para garantir uma zona em que o corte a plasma estivesse estabilizado e foram tomadas as mesmas medidas para o jato abrasivo para manter a padronização dos paramentos, foram feitos corpos de prova com 20 mm de comprimento levando em conta a face cortada.

Para esta operação foi utilizada o equipamento de corte metalográfico *Arotec Arocor 40* conforme mostra na figura 3.10. Esta máquina possui acionamento de corte por alavanca de ação frontal, deslocando a amostra contra o disco, dispositivo de amortecimento no movimento de corte. A cortadeira metalográfica é o aparelho ideal para o seccionamento de amostras com pequenas dimensões, no entanto a utilização de um disco inadequado ou mal manuseio do aparelho, pode causar danos irreparáveis as amostras.



Figura 3.10 – Cortadora metalográfica Arotec Arocor 40 (Autor, 2021).

Após os cortes as amostras foram devidamente refrigeradas buscando diminuir a possibilidade de transformações metalúrgicas nas superfícies das amostras. É importante ressaltar que o corte nunca deve ser contínuo, de modo que não ocorra excessivo aquecimento por falta de penetração do refrigerante, ao fim da operação deve-se fazer a limpeza do equipamento.

3.5.2 Embutimento

O embutimento da amostra é necessário para facilitar as etapas subsequentes de preparação, com objetivo de obter uma superfície plana e paralela, além de proteger a superfície. O embutimento de amostras metalográficas é de grande importância em micrografia, pois além de facilitar o manuseio de peças pequenas, evita que os corpos de prova rasguem a lixa ou o pano de polimento, bem como evitar o abaulamento dos corpos de prova durante o polimento, o que influencia significativamente na observação microscópica.

Após o corte, a amostra foi levada até a embutidora metalográfica Teclago EM30D apresentado na figura 3.11. Para a realização do processo a quente, a amostra foi posicionada com a face interna ao corte em contato com o êmbolo inferior da máquina, a resina usada o pó de baquelite preto, para as amostras cortadas a plasma foi necessário a remoção da escória para que a amostra se equilibrasse e pode-se ser embutida de forma eficiente. A baquelite é uma resina sintética extremamente resistente, trata-se de um

polímero de condensação, formado pela polimerização entre o fenol e o formol, com a eliminação de moléculas de água.



Figura 3.11 – Embutidora metalográfica Teclago EM30D (Autor, 2021).

As amostras ficaram sujeitas a pressão por volta de 100 bar até atingir a temperatura de 190 °C e depois teve-se início ao processo de resfriamento.

3.5.3 Lixamento Metalográfico

O lixamento das amostras é uma etapa essencial na preparação dos corpos de prova, pois na mesma os danos como deformidades provocados nas amostras durante os cortes devem ser removidos. Para o processo de lixamento dos corpos de prova foi utilizado a lixadeira metalográfica manual Teclago LM-04 ilustrada na Figura 3.12, sem dúvidas essa etapa da metalografia requer bastante cautela para que se tenha um grau de perfeição no acabamento da amostra.



Figura 3.12 – Lixadeira metalográfica manual Teclago LM-04 (Autor, 2021).

O processo de lixamento visa à remoção dos sulcos e riscos provenientes do desbaste do metal e a realização de uma superfície plana cuja a profundidade de deformação seja suficientemente pequena que possibilite a remoção após o processo de polimento.

A lixa também danifica a superfície da amostra embutidas e esses riscos devem ser retirados com as lixas subsequentes. Foram utilizadas lixas abrasivas de SiC com granulometrias de 80 mesh para amostras mais grosseiras ou com excesso de baquelite recobrando a face analisada e de 100, 220, 320, 400, 600 e 1200 mesh em todos os casos, e água com fluido refrigerante, o lixamento a seco é pouco recomendado. A granulometria é relatada em números, ou seja, quanto mais baixo for o número, mais grossa é a lixa.

Ao iniciar a operação, a peça teve a direção de lixamento devidamente identificada para que houvesse a indispensável rotação de 90 graus entre o lixamento de uma folha para a outra. Contrariamente ao que se pode imaginar, a eficiência de abrasividade em função da remoção de material do corpo de prova não depende do estado novo da lixa. O uso de lixa não muito nova é vantajoso porquanto acelera a retirada do material e a realização da superfície plana.

3.5.4 Polimento

A finalidade do polimento é obter uma superfície lisa, com mínimo de riscos possível e com alta refletividade (espelhada). Não é necessário que a superfície esteja totalmente isenta de riscos, mas estes riscos não devem interferir o exame da amostra.

Neste processo foi utilizado o polimento manual nas amostras nas figuras 3.13, com o uso de alumina em suspensão de granulometria de $1\mu\text{m}$ como material abrasivo e álcool etílico para a lubrificação e como é um material volátil, evitar a oxidação da face estudada. Para a operação de polimento recomenda-se inicialmente a limpeza como condição essencial ao bom procedimento e um pano de polimento em boa condição já é que um procedimento de finíssimo ajuste a superfície, pequenos defeitos iram causar riscos indesejados a amostra.



Figura 3.13 – Polimento manual com alumina (Autor, 2021).

A pressão aplicada nas amostras durante o polimento foi controlada a fim de evitar riscos e assim as amostras foram movimentadas em sentidos circulares para evitar possíveis defeitos, depois de determinado tempo de polimento, as amostras foram limpas com álcool e secadas com o secador quente e feito a remoção do excesso de alumina com algodão.

3.5.5 Ataque químico

A superfície do corpo de prova polido assertivamente reflete a luz de forma homogênea e não permite diferenciar os microconstituintes de sua estrutura. Para revelação da sua estrutura torna-se necessário atacar a superfície previamente polida com soluções reativas apropriadas. Trincas, poros e inclusões não metálicos podem ser

observados na condição de polimento. Constituintes com menor diferença em refletividade pode ser observadas sem necessidade de ataque, com uso de iluminação com contraste de fase (campo escuro, luz polarizada).

Na maioria dos casos, só é possível observar a microestrutura pós ataque químico da superfície. Para se obter um contraste bem delineado a superfície polida deve ser livre de ruídos. Logo, o ataque metalográfico engloba todos os processos usados para revelar características particulares do material que não são notados apenas na condição do polimento.

Dado a grande incidência do preparo de amostra ferro e aço na metalografia, foi preparado utilizado uma solução de nital 2% (2% solução de ácido nítrico, 98% álcool etílico) como reagente para a revelação das microestruturas de acordo com a norma ASTM E407-07 (2015) e1, para microestruturas de metais e aços. Esta prática cobre soluções e procedimentos a serem usados na corrosão de metais e ligas para exame microscópico. Precauções de segurança e diversas informações estão incluídas.

Para a preparação da solução de nital 2% foram utilizados álcool etílico 100% (Figura 3.14) e solução de ácido nítrico 65% (Figura 3.15), foram adicionados 98 ml de álcool etílico em um becker e com auxílio de uma pipeta foram adicionados 2 ml da solução de ácido nítrico no becker, após feita a mistura, a solução final é despejada em uma placa de petri para que se faça o ataque.

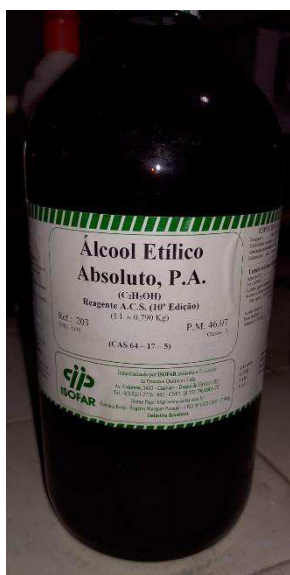


Figura 3.14 – Álcool etílico nítrico

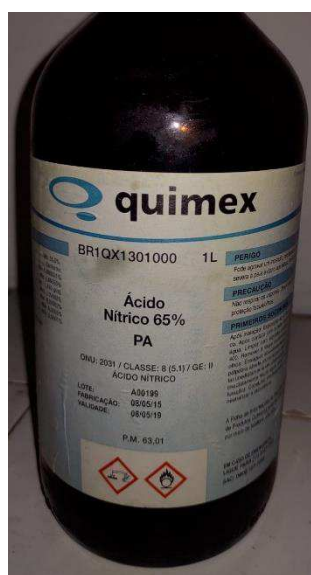


Figura 3.15 – Solução de ácido

Para a manipulação do ácido nítrico se faz o uso de EPIs e extremo cuidado, pois além de ser altamente corrosivo, seu contato com o ar faz com que seja formado dióxido de nitrogênio que é tóxico e causa dano celular a mucosa quando inalado e em casos mais graves e exposição prolongada pode gerar doença pulmonares, logo, se faz necessário a utilização de uma máscara antigás.

O nital é um dos reagentes mais usados e com aplicabilidade para a maioria dos metais ferrosos. O ataque foi feito por imersão das amostras representado na Figura 3.16, ambas as amostras foram submetidas a 30 segundos de ataque.



Figura 3.16 – Amostra sendo imersa em nital 2% (Autor, 2021).

3.5.6 Observação por microscópio

Embora diversas ferramentas eletrônicas sofisticadas estejam disponíveis para um investigador metalográfico, o microscópio óptico continua sendo um instrumento muito eficaz no que se propõe e é o que a havia disponível por ter baixo custo.

Para a análise foi utilizado o microscópio metalográfico trinocular de platina invertida – MI50 da Micron Scientific, apresentando na Figura 3.17, com ampliações de 50, 100, 200, 500 e 1000 vezes. As imagens foram obtidas pela reflexão da luz em diversas regiões das amostras e assim revelando as microestruturas.



Figura 3.17 – Amostra sendo analisada no microscópio óptico (Autor, 2021).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao ser realizado a análise das microestruturas das amostras, serão apresentados todos os resultados do ensaio metalográfico.

4.1 Metal de base

Na Figura 4.1, temos a microestrutura para o aço ASTM A36 livre de ação de corte para efeito de comparação as peças cortadas.



Figura 4.1 – Microestrutura de base do aço A36 com aumento de 100x (Autor, 2021).

4.2 Microestrutura para corte a jato de água abrasivo

Nas Figuras 4.2 e 4.3, temos a microestrutura para o aço ASTM A36 pós processo de corte a jato de água abrasivo em sua face interna ao corte. Como é visto, não se nota alteração na microestrutura, como esperado de um a frio de fina precisão, que pode ser muito útil dependendo da aplicação das peças cortadas com esse método.

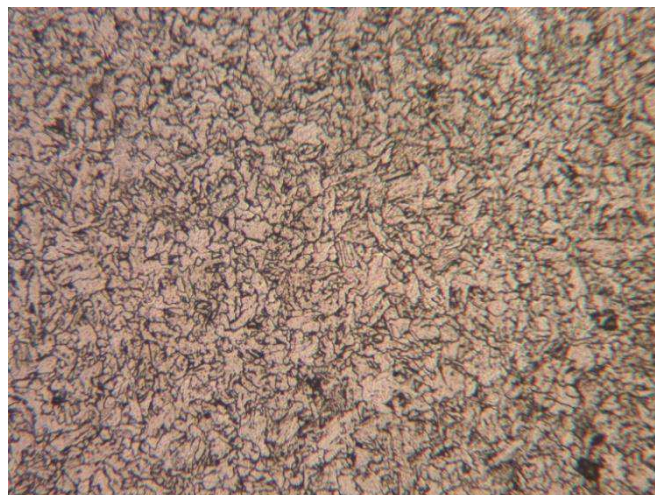


Figura 4.2 – Microestrutura do aço A36 cortado com jato de água abrasivo com aumento de 100 vezes (Autor, 2021).

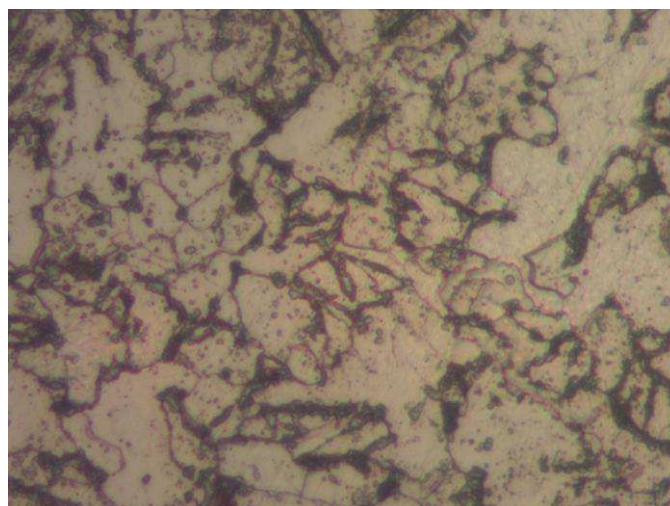


Figura 4.3 – Microestrutura do aço A36 cortado com jato de água abrasivo com aumento de 500 vezes (Autor, 2021).

Ao longo do fio de corte é notável que no procedimento de corte a jato de água abrasivo, a estrutura dos grãos permanece homogêneas da borda da amostra, próxima a superfície cortada, ao centro da face interna ao corte como é visto na Figura 4.4.

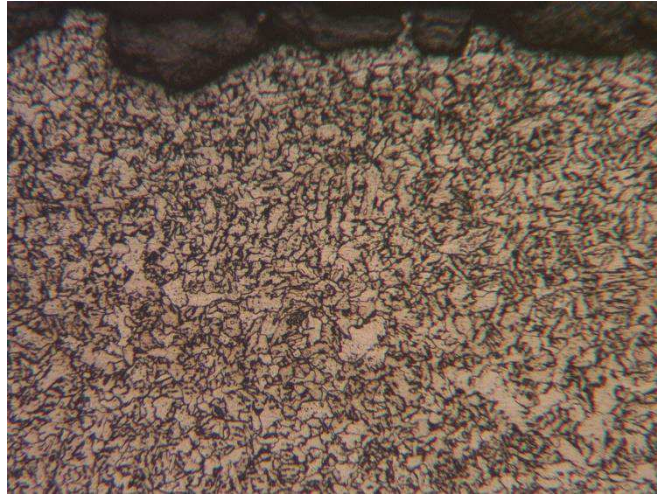


Figura 4.4 – Microestrutura do aço A36 cortado com jato de água abrasivo próximo a superfície cortada com aumento de 50 vezes (Autor, 2021).

Mesmo com uma análise minuciosa com a ampliação 1000 vezes, é visto que a estrutura permanece com composição ferrítica com contornos de perlita como visto na Figura 4.5.

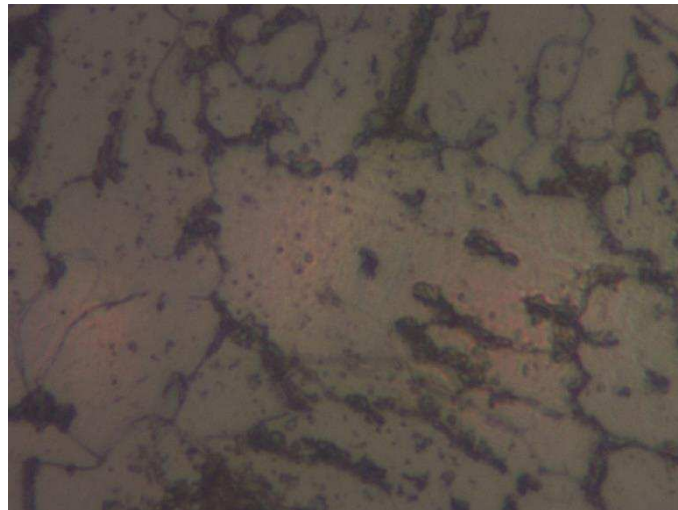


Figura 4.5 – Microestrutura do aço A36 cortado com jato de água abrasivo com aumento de 1000 vezes (Autor, 2021).

4.3 Microestrutura para corte a plasma

No processo de corte a plasma a microestrutura da face interna ao corte também foi analisada, porém observou-se que a microestrutura do material sofreu uma mudança devido a ser um corte térmico, podemos notar uma maior composição de perlita do que o material inicial.

O processo produziu escórias e deformação, além de formação de zona afetada pelo calor, nas Figura 4.6 e 4.7 é mostrado a face interna ao corte, onde temos uma matriz de ferrita e perlita com formação de grãos acinzentados com composição de bainita devido ao alto aquecimento do material no processo de corte e resfriamento relativamente rápido por indução do calor para o resto da peça, bainita é vista na Figura 4.8, e formação de pequenos grãos focais de cementita completamente pretos como e visto na Figura 4.9.

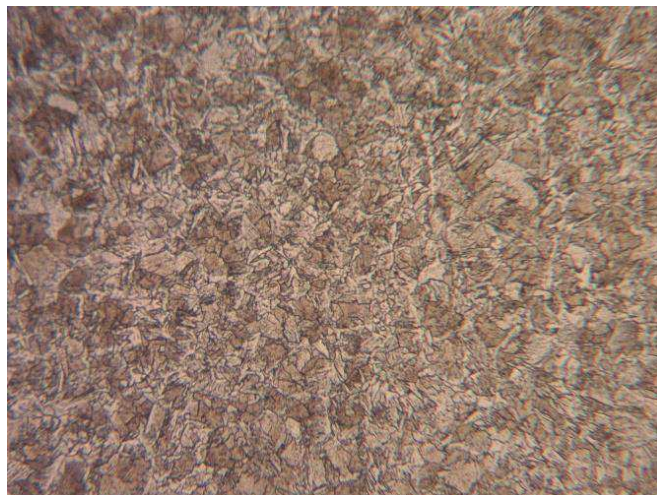


Figura 4.6 – Microestrutura do aço A36 cortado a plasma com aumento de 100 vezes (Autor, 2021).

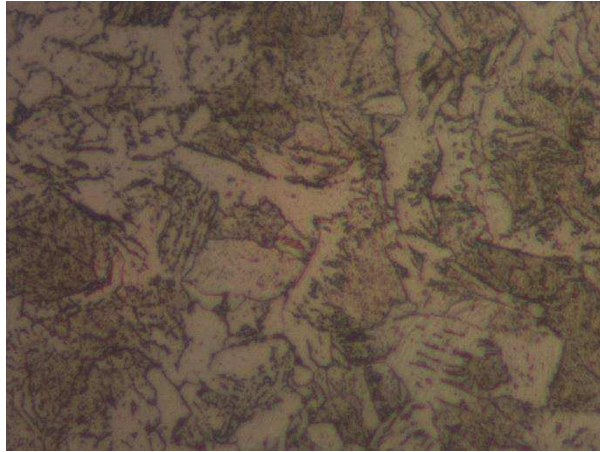


Figura 4.7 – Microestrutura do aço A36 cortado a plasma com aumento de 500 vezes (Autor, 2021).

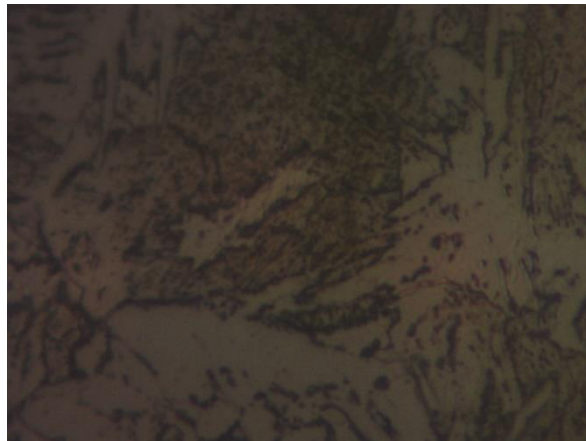


Figura 4.8 – Formação de bainita no aço A36 cortado a plasma com aumento de 1000 vezes (Autor, 2021).

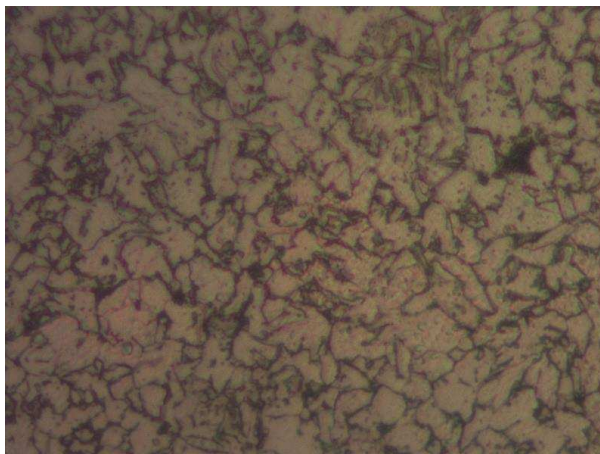


Figura 4.9 – Formação de focos de cementita no aço A36 cortado a plasma com aumento de 500 vezes (Autor, 2021).

4.4 Estudo comparativo

A tabela 4.1 apresenta a comparação entre os dois processos de corte e com ela é possível observarmos a vantagem de um processo sobre o outro a fim de escolhermos a melhor opção.

Tabela 4.1 – Comparativo entre os processos de corte

Características	Corte a jato de água abrasivo	Corte a plasma
Qualidade	Corte limpo e extremamente preciso, sem presença de deformação e não possui zona afetada por calor por ser um processo a frio.	Os cortes a plasma apresentam escória, deformação e uma zona afetada pelo calor.
Produtividade	Velocidade de corte lentas para execução em larga escala	Com velocidades de corte significativamente maiores.
Custo Operacional	R\$ 12 à 16 pro Kg	R\$ 2,50 à 3 pro Kg
Manutenção	Baixo custo de manutenção.	Requisitos de manutenção moderados.

Segurança	Bem seguro, por ser automático e não ter projeção de corpos danosos.	Moderadamente seguro, não necessita de gases inflamáveis, porém há ejeção de fagulhas.
Manuseio	Depois de devidamente calibrado, a operação é fácil e podendo ser controlado pela máquina e não necessita de ajustes ao longo do processo de corte.	Diferente do oxicorte por exemplo, não precisa ajustar a chama durante o processo. Assim uma tocha a plasma consegue oferecer um corte com relativa precisão comparado aos outros processos de corte a quente, podendo operar com o bico mais próximo da peça.

5 CONCLUSÃO

A microestrutura do aço ASTM A36 livre de ação de corte possui toda sua extensão havia majoritariamente composição de ferrita, ou seja, menor teor de carbono, com formação de contornos de perlita. Pós corte a jato de água abrasivo não há alteração na microestrutura, é notável que a estrutura ao longo do fio de corte permanece homogênea, como esperado de um a frio de fina precisão, que pode ser muito útil dependendo da aplicação das peças cortadas com esse método. Pós corte a plasma microestrutura do material sofreu uma mudança devido a ser um corte térmico, podemos notar uma maior composição de perlita do que o material inicial, uma matriz de ferrita e perlita com formação de grãos acinzentados com composição de bainita devido ao alto aquecimento do material no processo de corte e resfriamento relativamente rápido por indução do calor para o resto da peça.

A partir dos experimentos realizados percebemos que a temperatura influencia diretamente na estrutura dos metais, dessa forma foi possível observar através das técnicas da metalografia que um aço A36 tem a sua estrutura alterada quando submetido a processos de corte a plasma. A temperatura sem dúvidas é uma das variáveis que mais afetam a estrutura do material causando assim alteração desta, porém é importante ressaltar também que o tempo contribui significativamente para mudança da estrutura pois dependendo do instante que determinado está exposto a temperatura.

As principais vantagens do corte a jato de água abrasivo são a sua precisão na casa de décimo de milímetro e não ter formação de escórias, não afeta a microestrutura que pode ser desejável para que não interfira em tratamentos posteriores ao corte, tem maior aplicabilidade como cortes em chanfros, detalhes superficiais, além de poder cortar chapas empilhadas e outros tipos de materiais como cerâmico e compósito, é mais seguro por não gerar fagulhas e não usar compostos inflamáveis e de fácil manuseio por ser automatizado. As principais vantagens do corte a plasma sobre o jato de água abrasivo são ser um corte de baixo custo e rápido, e caso ele cumpra as exigências da aplicação desejada, é ideal para cadeia de produção de larga escala.

6 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Como sugestão para o próximo trabalho, pode-se pensar na comparação do corte a plasma e corte a jato de água abrasivo de forma apenas mecanizada visando uma maior padronização dos parâmetros e assim maximização dos resultados, onde o operador calculará o tempo em que cada processo se realiza para um mesmo tipo de chapa e observando também a temperatura em que o material chega durante esses processos. A chapa poderia ser de um material com um maior teor de carbono do que o aço A36 como aços SAE 1045 e 1060 com teores de carbono de 0,45 e 0,60% respectivamente.

Poderia ser feito uma amostra da superfície de inserção do corte ou a vista do plano transversal para poder ver a progressão da zona afetado pelo calor em camadas em processos de corte a quente como o plasma.

O estudante poderia fazer uma comparação com o processo de corte a laser visto que este corte tem crescido bastante nos últimos tempos a ponto de rivalizar com o corte a plasma, teríamos assim dois grandes processos com altas velocidades de corte, precisão, economia, pouca perda de material e com grandes flexibilidades assim teríamos a competição entre os cortes de uma maneira bastante parelha e mais justa já que estaríamos diante de dois processos que estão em constante transformação para que cada vez mais se adaptem ao que o mercado exige, tendo aplicabilidades semelhantes.

REFERÊNCIAS

ALMACAM. **Corte de metal ao jato de água.** Alma, 2021. Disponível em: <https://pt-br.almacam.com/tecnologias/trabalho-da-chapa/trabalho-da-chapa-corte-com-jato-dagua/#:~:text=O>>. Acesso em: 07 out. 2021.

ALUMAQ. **Conheça as diferenças entre o corte a quente e a frio.** Disponível em: <http://www.alumaq.com.br/conheca-as-diferencas-entre-corte-a-quente-e-a-frio/>. Acesso: em 10 out. 2021.

ALUSOLDA. **Principais características do processo de corte a plasma.** Disponível em: <https://alusolda.com.br/principais-caracteristicas-do-processo-de-corte-plasma/>. Acesso: 10 out. 2021.

BAJARES, R. A.; MELLA, L. **Study of the corrosion rate in the couple of steels ASTM A-36 and AISI/SAE 304 in a water-coke of petroleum system.** Procedia Materials Science, v. 8, p. 702 - 711, 2015.

BURNHAM, C. **O Guia Definitivo sobre Jato de Água.** [s.l.]: Flow International Corporation, 9 f., 2015.

CALLISTER, W.D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia dos Materiais: uma introdução.** 7 ed. São Paulo: LTC, 2006.

CHIAVERINI, V. **Aços e ferros fundidos: características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos.** 7 ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 1996.

COLPAERT, H. **Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns.** São Paulo: Blucher, 2008.

COMPRAÇO. **Chapa de aço ASTM A36.** Disponível em: <https://compraco.com.br/blogs/aco-na-industria-brasileira/chapa-de-aco-a36>. Acesso em: 21 out. 2021.

DARD. **Máquina de corte com Jato de água abrasivo.** Disponível em: <https://localhost/dardi.com.br/404>. Acesso em: 25 out. 2021.

FERRAZ, H. **O aço na construção civil.** 2003. Disponível em: <http://www.metalica.com.br/o-aco-na-construcao-civil>. Acesso em: 13 set. 2021.

HASAN, M F. **Analysis of Mechanical Behavior and Microstructural Characteristics Change of ASTM A-36 Steel Applying Various Heat Treatment**. Journal of Material Science & Engineering, v. 5, p. 1-7, 2016.

HYPERTHERM. **Tecnologia de jato de água**. Disponível em: <https://www.hypertherm.com/pt/learn/cutting-education/waterjet-technology/>. Acesso em: 07 out. 2021.

LIMA, Erasmo. **Corte a plasma**. Revista da Soldagem ABS. Editora Associação Brasileira de Soldagem. Ano 2, nº 9. p. 18-26. 2006.

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

MEGAPLASMA. **Saiba a diferença do corte por plasma e o corte por jato de água**. Disponível em: <https://megaplasma.com.br/blog/diferenca-corte-por-plasma-e-o-corte-por-jato-de-agua/>. Acesso em 07 out. 2021.

NEMCHINSKY, V.; SEVERANCE, S. **What we know and what we do not know about plasma arc cutting**. Journal of Physics D, v. 39, p. 22, 2006.

PACHECO, S. **O que é austenita**. 2012. Disponível em: <https://sandropacheco.wordpress.com/2012/02/26/o-que-e-a-austenita/>. Acesso em: 21 nov. 2021.

PIMENTA, S. W. **Estudo comparativo entre os processos de corte a plasma e jato de água para chapa de aço inoxidável de 1" utilizada na construção de máquinas especiais**. Monografia (Engenharia de Soldagem) – Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano de Sul, São Paulo 2013.

TSCHIPTSCHIN, André Paulo. **Mundo dos Aços Especiais: Processos de Fabricação**, módulo 1. São Paulo: Gerdau, 34f., 2015.