

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Jonas Carrasco Rico

**ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DE UMA
JUNTA SOLDADA MIG/MAG EM RELAÇÃO À SUA
MICROESTRUTURA**

Taubaté – SP

2017

Jonas Carrasco Rico

**Análise das características mecânicas de uma junta
soldada MIG/MAG em relação à sua microestrutura**

Trabalho de Graduação apresentado
para obtenção do Título de Bacharel
em Engenharia Mecânica do
Departamento de Engenharia
Mecânica da Universidade de
Taubaté.

Orientador: Prof. Msc. Ivair Alves dos
Santos

**Taubaté – SP
2017**

**Ficha Catalográfica elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado
de Bibliotecas / UNITAU - Biblioteca das Engenharias**

R541a Rico, Jonas Carrasco
Análise das características mecânicas de uma junta soldada MIG/MAG em relação à sua microestrutura. / Jonas Carrasco Rico. - 2017.
58f. : il; 30 cm.
Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2017
Orientador: Prof. Me Ivair Alves dos Santos, Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica.
1. Micrografia. 2. Solda. 3. Metalografia. 4. Dureza. 5. Propriedades mecânicas. I. Título.

Jonas Carrasco Rico

**Análise das características mecânicas de uma junta
soldada MIG/MAG em relação à sua microestrutura**

Trabalho de Graduação apresentado
para obtenção do Título de Bacharel
em Engenharia Mecânica do
Departamento de Engenharia
Mecânica da Universidade de
Taubaté.

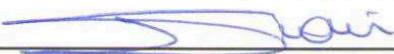
Orientador: Prof. Msc. Ivair Alves dos
Santos

Data: 24-10-2017

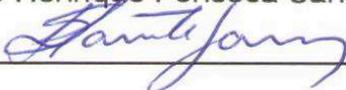
Resultado: Aprovado

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Msc.: Ivair Alves dos Santos (Orientador)

Assinatura: 

Prof. Msc.: Fábio Henrique Fonseca Santejani (Convidado)

Assinatura: 

UNITAU - Universidade de Taubaté

Taubaté – SP

2017

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que direta ou indiretamente me auxiliaram na conclusão do meu trabalho e na minha estrada até a sua realização.

Agradeço aos meus pais, Maria Azucena Carrasco Cenzano Rico e Antônio Lanziloti Rico Junior pelo apoio que me deram durante toda a minha vida, o que me deu forças para chegar onde cheguei.

Agradeço à minha eterna mestra Ana Regina, pois sem seu auxílio eu sequer teria iniciado o curso.

Agradeço aos meus amigos por terem estado ao meu lado quando precisei de auxílio.

Agradeço ao meu orientador e amigo, Professor Ivair, pela paciência e pelos diálogos que tanto fizeram diferença.

Agradeço ao professor Dedinei, que me auxiliou no processo de solda e nas técnicas para melhorar o lixamento das amostras, ainda que eu não tenha atingido a perfeição.

Agradeço ao professor Dr. Evandro Nohara pela disponibilidade em fornecer máquinas, equipamentos e ensinamentos dentro do laboratório de micrografia, essenciais para a conclusão deste trabalho.

E, por fim, agradeço a pessoa que provavelmente me fez chegar aonde cheguei: Rafaella Iris de Paiva Dias, que em tempos bons ou ruins esteve lá para me apoiar e me brindar com toda a sua sabedoria e apoio. Meu mais sincero e profundo obrigado.

RESUMO

O formato e as características de uma microestrutura influenciam diretamente nas suas características mecânicas, ainda mais se tratando de uma junta soldada onde, além da ação de altas temperaturas, que irão fundir o material, também sofrem a ação da adição de materiais que podem não possuir exatamente as mesmas características que o material de base. O trabalho tem por objetivo analisar a micrografia de três chapas soldadas através do processo MIG/MAG, com diferentes tipos de junta, para avaliar a diferença entre os tipos de contornos de grão encontrados, a porcentagem de diluição do metal de adição ao metal base e dureza das juntas soldadas. O trabalho segue o modelo de uma pesquisa experimental explicativa, onde foram realizados experimentos laboratoriais com amostras dos materiais soldados a fim de se adquirirem as imagens da macrografia e da micrografia para a análise dos contornos de grão presentes nas regiões soldadas.

Palavras chave: Micrografia. Solda. Metalografia. Dureza. Propriedades mecânicas.

ABSTRACT

The shape and characteristics of an microstructure have directly influence on it mechanicals properties, even more when comes from a welded joint where, in addition to the action of high temperatures, which will melt the material, also suffer the action of materials which may not have the exactly same characteristics than the base material. The purpose of the present study is to analyses the micrography of three welded plates by the MIG/MAG process, with different kind of joints, to evaluate the difference between the types of grain outlines founds, the dilution percentage of the addition metal on the base metal and the hardness of the welded joints. The work follows the model of an experimental and explanatory research, where the laboratorial experiments were performed with samples of the welded materials in order to acquire the images of the micrography and the macrography for analyzes of the grain outlines presents in their welded region.

Keywords: Micrography. Weld. Metallography. Hardness. Mechanical properties.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	OBJETIVO	8
2	REVISÃO DA LITERATURA	9
2.1	CONCEITOS BÁSICOS SOBRE FERRO E AÇO	9
2.2	PROCESSO DE SOLDAGEM MIG/MAG	11
2.2.1	Introdução ao processo MIG/MAG	11
2.2.2	Formação alotrópica do processo MIG/MAG em aço mole	12
2.2.3	Regiões encontradas nas juntas soldadas	13
2.3	PROPRIEDADES MECÂNICAS	14
2.4	MICROGRAFIA	16
2.5	VARIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DO AÇO EM RELAÇÃO AO TEOR DE CARBONO	20
3	METODOLOGIA	22
3.1	INTRODUÇÃO	22
3.2	QUANTO À FINALIDADE	22
3.3	QUANTO AOS OBJETIVOS	23
3.4	QUANTO À ABORDAGEM	24
3.5	QUANTO AO MÉTODO	24
3.6	QUANTO AOS PROCEDIMENTOS	25
3.7	MÉTODOS UTILIZADOS NESTE TRABALHO	27
4	DESENVOLVIMENTO	28
4.1	SOLDAGEM	28
4.2	MICROGRAFIA	34
4.3	DUREZA	38
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
5.1	OBJETIVO	40
5.2	ANÁLISE MACROSCÓPICA	40
5.2.1	Discussão sobre a análise macroscópica	44
5.3	ANÁLISE MICROGRÁFICA	45
5.3.1	Objetivo	45
5.3.2	Análise da Junta Chanfrada	45

5.3.3	Análise da Junta de Topo	49
5.3.4	Análise da solda Sobre-Chapa	52
5.3.5	Discussão sobre as análises micrográficas	53
5.4	ANÁLISE DA DUREZA ROCKWELL	54
5.4.1	Objetivo	54
5.4.2	Análise das durezas nas amostras	54
5.4.3	Discussão sobre o ensaio de dureza	55
6	CONCLUSÃO	57
	REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

As propriedades mecânicas de um aço de baixo carbono não são apenas definidas por sua composição química, elas se valem também do tipo de estrutura de seus contornos de grão, uma vez que com determinado arranjo destes contornos o mesmo aço pode tornar-se duro, mole, elástico, plástico, frágil, resistente ou não à corrosão, tenaz, e possuir entre outras características. Cada trabalho mecânico ou tratamento térmico pode alterar drasticamente sua microestrutura e, assim, variar consideravelmente suas propriedades mecânicas. Essa microestrutura é analisada através de técnicas de micrografia.

Quando um aço é soldado, ele sofre uma extrema mudança de estrutura na região do cordão de solda, uma vez que a temperatura de trabalho se eleva à aproximadamente 1410°C na região da poça de fusão, assim como resfria de maneira relativamente rápida. A soma desses fatores (temperatura e tempo), se não for analisada corretamente e estudada previamente, pode transmutar de forma radical a microestrutura no cordão de solda, fazendo com que as propriedades mecânicas nessa região sejam completamente diferentes do resto do metal base. Sendo assim, analisar a micrografia da região soldada fornece informações preciosas a respeito das propriedades que aquela região adquiriu, facilitando a compreensão das suas mudanças e como isso pode afetar no comportamento do material como um todo.

1.1 OBJETIVO

O objetivo do trabalho é analisar que tipo de microestrutura pode ser encontrada na região de um cordão de solda de um aço de baixo teor de carbono (SAE 1020) soldado com equipamento MIG/MAG com parâmetros pré-estabelecidos e, assim, poder relacionar como os contornos de grão influenciam em determinadas propriedades mecânicas da região soldada em comparação com o metal base.

A principal propriedade mecânica analisada será a dureza do material.

A análise será visual e prática, utilizando testes destrutivos do material e será comparada a literaturas pré-existentes.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo serão apresentados conceitos fundamentais ao entendimento da leitura e interpretação de micrografias em aços ao carbono, bem como conceitos sobre suas propriedades mecânicas. Também será abordado o processo de soldagem MIG/MAG, o qual foi utilizado para a realização da metodologia.

2.1 CONCEITOS BÁSICOS SOBRE FERRO E AÇO

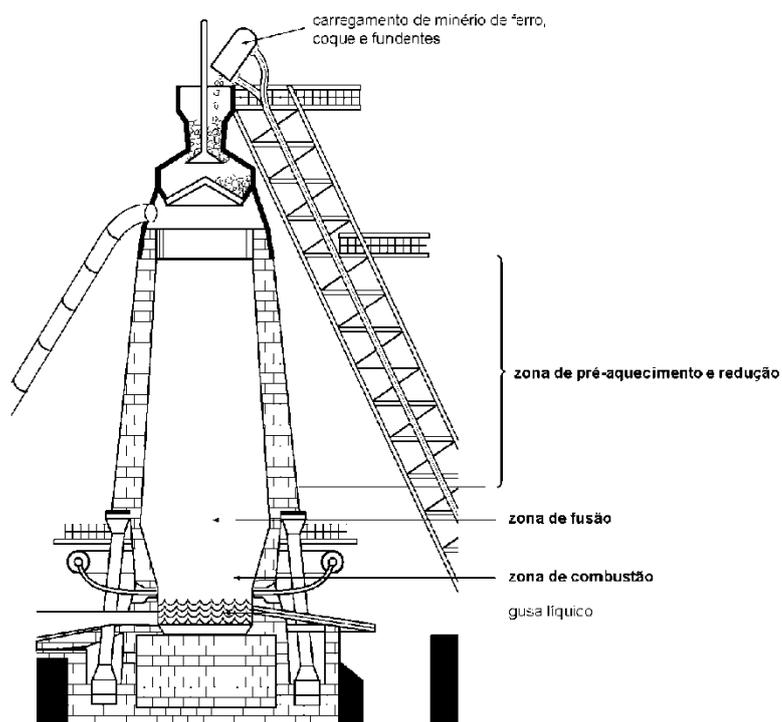
O ferro é o elemento mais usado pelo homem nos dias de hoje, isso devido a sua grande abundância e facilidade de trabalho. O custo de sua produção é relativamente baixo e tem inúmeras aplicações industriais por causa de suas excelentes características mecânicas, que podem ser melhoradas com a adição de outros metais. O “ferro” na verdade, é uma mistura de ferro, carbono e outros elementos químicos. (UFPR, 2017).

Aço é o nome dado à mistura, basicamente, de ferro e algo entre 0,008% e 2,11% de carbono, que pode possuir outros elementos químicos residuais do processo de produção. Outros elementos químicos podem ser misturados no aço, transformando-o em aço-liga. Caso esses elementos não sejam acrescentados, o aço é chamado apenas de aço-carbono. Além do aço, também é possível a produção do ferro-fundido, que contém entre 2,11% e 4,5% de carbono. (UFPR, 2017).

O aço é produzido através do processo de oxidação do ferro-gusa, que por sua vez é obtido através do derretimento no alto forno (Figura 1) de três componentes: minério de ferro, carvão coque e calcário. Esses três elementos são aquecidos a temperaturas superiores a 1500°C causando a redução da mistura e dão origem ao ferro gusa, que possui alta concentração de carbono e impurezas. (SENAI –2007).

O ferro-gusa também é conhecido como “ferro de primeira fusão” e não possui aplicações industriais devido ao seu elevado índice de carbono (em torno de 6,5% de C). essa quantidade elevada de carbono torna o ferro-gusa extremamente duro e quebradiço, sem possibilidade de poder ser usinado ou trabalho sem que haja o risco de trincas e/ou fissuras no material. (SENAI –2007).

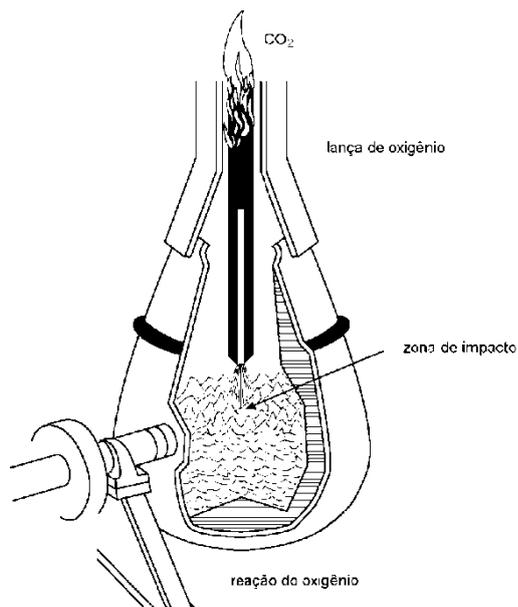
FIGURA 1 – REPRESENTAÇÃO DE UM ALTO-FORNO DE PRODUÇÃO DE FERRO-GUSA



Fonte: SENAI

Para que seja produzido o aço, o ferro-gusa é acrescentado em equipamentos conhecidos como “conversores” (Figura 2) onde o metal sofrerá um processo de oxidação por meio do jateamento de oxigênio na mistura, a fim de reduzir a porcentagem de carbono no metal. Nesse processo o equipamento pode atingir temperaturas em torno de 1650°C.

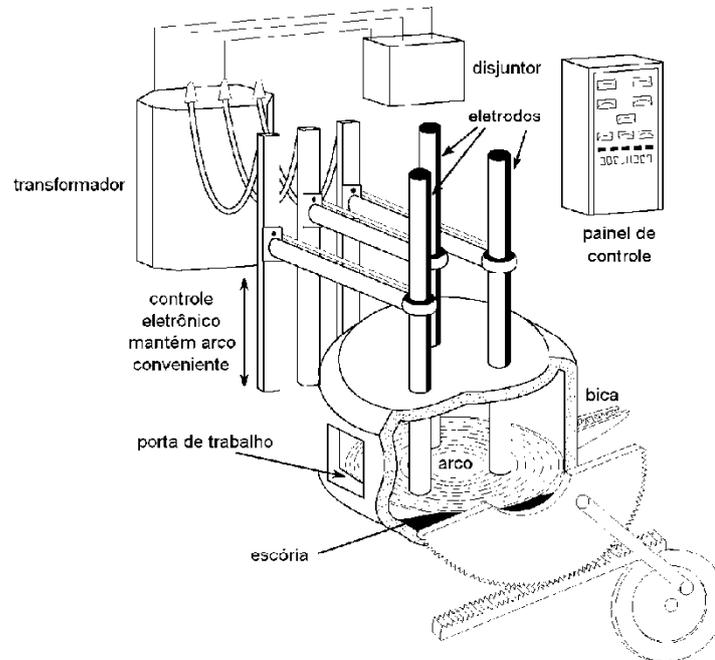
FIGURA 2 – CONVERSOR DO TIPO LD PARA PRODUÇÃO DO AÇO



Fonte: SENAI

Além do ferro-gusa, é muito comum a utilização de sucata para a produção do aço em conversores, porém para este fim utilizam-se fornos elétricos, como o apresentado na Figura 3.

FIGURA 3 – FORNO ELÉTRICO USADO EM RECICLAGEM DE SUCATA PARA PRODUÇÃO DE AÇO



Fonte: SENAI

2.2 PROCESSO DE SOLDAGEM MIG/MAG

2.2.1 Introdução ao processo MIG/MAG

Segundo Veiga (2011, p. 7) “Durante muito tempo, a técnica de soldagem foi dominada pelo processo com eletrodos revestidos, [...]”. Esse processo foi um dos primeiros a ser usado industrialmente em grande escala. Baseia-se na fusão de metais através do arco gerado entre um eletrodo revestido e a peça, sendo que o revestimento do eletrodo, ao se fundir na poça de solda, forma uma camada protetora contra gases provenientes da atmosfera.

O processo de eletrodo revestido não satisfaz completamente aplicações em produção contínua. Dentre alguns pontos negativos há o comprimento e espessura do eletrodo que se limita pelo tamanho do alicate do porta-eletrodo em que ele será fixado, limitando a densidade de corrente podendo haver um sobreaquecimento do eletrodo. Tudo isso gera uma diminuição na velocidade da solda. A escória presente no processo dificulta a execução da solda, demanda do operador uma atenção maior e maior habilidade para evitar defeitos como poros e restos de escória no cordão de solda. A retirada da escória também se torna um problema,

fazendo o operador perder tempo e podendo ser de difícil acesso, como soldas em ângulo. É comum um processo com eletrodo revestido ter um rendimento de 55%, levando em consideração os aspectos apresentados, sem contar a perda de material na troca de eletrodos que pode ser de 5% a 10 % (VEIGA, 2011).

O processo de soldagem conhecido como MIG/MAG baseia-se na junção de peças metálicas através do derretimento (fusão) das mesmas através de um arco elétrico gerado entre um eletrodo de arame com deposição contínua e a própria peça. Todo o processo é envolto por um gás de proteção que evita a contaminação do cordão de solda por impurezas presentes no ar atmosférico (VEIGA, 2011).

“O sistema MIG (*Metal Inert Gas*) é normalmente utilizado na soldagem de metais não ferrosos, como alumínio, aços inoxidáveis, cobre, magnésio, etc., utilizando gases inertes como argônio, hélio ou misturas.” (VEIGA, 2011, p. 14).

“O sistema MAG (*Metal Active Gas*) é usado na soldagem de metais ferrosos, com o gás CO₂ ou misturas.” (VEIGA, 2011, p. 14).

O processo MIG/MAG apresenta inúmeras vantagens em relação ao eletrodo revestido. Esse processo de soldagem permite de maneira simples a automação do sistema, podendo, inclusive, serem utilizados robôs. O arco é facilmente visto e controlado, podendo ser variado durante a soldagem. A deposição contínua do arame supre a questão do soldador ter que fazer pequenas pausas para trocar o eletrodo que está chagando ao fim, aumentando a velocidade de produção e possibilitando a realização de cordões de maiores comprimentos, aumentando o rendimento do processo e a taxa de material depositado. O uso do gás em detrimento do revestimento do eletrodo elimina a questão da limpeza constante do cordão por causa da formação de escórias, o que também permite uma soldagem mais fácil e com menos chances de possuir bolhas, trincas, poros e outros defeitos comuns na soldagem com eletrodo revestido. Materiais não metálicos, como alumínio, são soldados com facilidade e qualidade. Em suma, a qualidade final do processo é bastante elevada (VEIGA, 2011).

2.2.2 Formação alotrópica do processo MIG/MAG em aço mole

O aço em temperatura ambiente e sem tratamentos possui uma configuração molecular denominada de ferrita. Um material com a mesma quantidade de carbono em seu interior, ao ser aquecido em temperaturas na faixa de 730°C apresenta um nova configuração de estrutura, chamada de austenita (VEIGA, 2011).

Em aços com teor de carbono entre 0,3% ou acima, que sofreram algum tipo de fusão, ao se resfriarem lentamente, voltam a possuir uma estrutura ferrítica, de acordo com sua configuração original. Porém, se forem esfriados de maneira mais brusca, passam a possuir uma configuração diferente, mais dura, tensionada e frágil, quebradiça à impactos. O nome dado a essa estrutura é a martensita, conforme apresentado na figura 4 (VEIGA, 2011).

FIGURA 4 – MICROGRAFIA DE ESTRUTURA MARTENSÍTICA



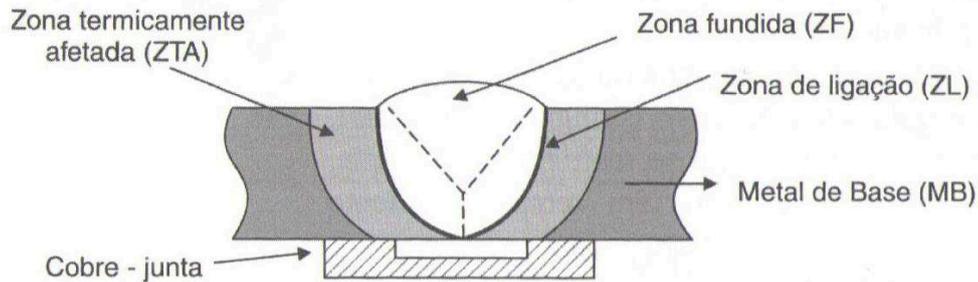
Fonte: VEIGA, 2011.

A martensita pode ser obtida intencionalmente ou não (como no caso de cordões de solda) ao realizar o endurecimento do material através de processo de têmpera. Porém, após esse processo, é necessário um outro tipo de tratamento (como um revenimento) para aliviar as tensões do material, mantê-lo duro e resistente à impactos (VEIGA, 2011).

2.2.3 Regiões encontradas nas juntas soldadas

Ao realizar uma solda, são encontradas ao menos quatro regiões diferentes, que serão apresentadas a seguir na figura 5 (VEIGA, 2011).

FIGURA 5 – REGIÕES DE UM CORDÃO DE SOLDA



Fonte: Processo de soldagem MIG/MAG. VEIGA, 2011.

Segundo Veiga (2011) e conforme apresentado na figura 5 tem-se:

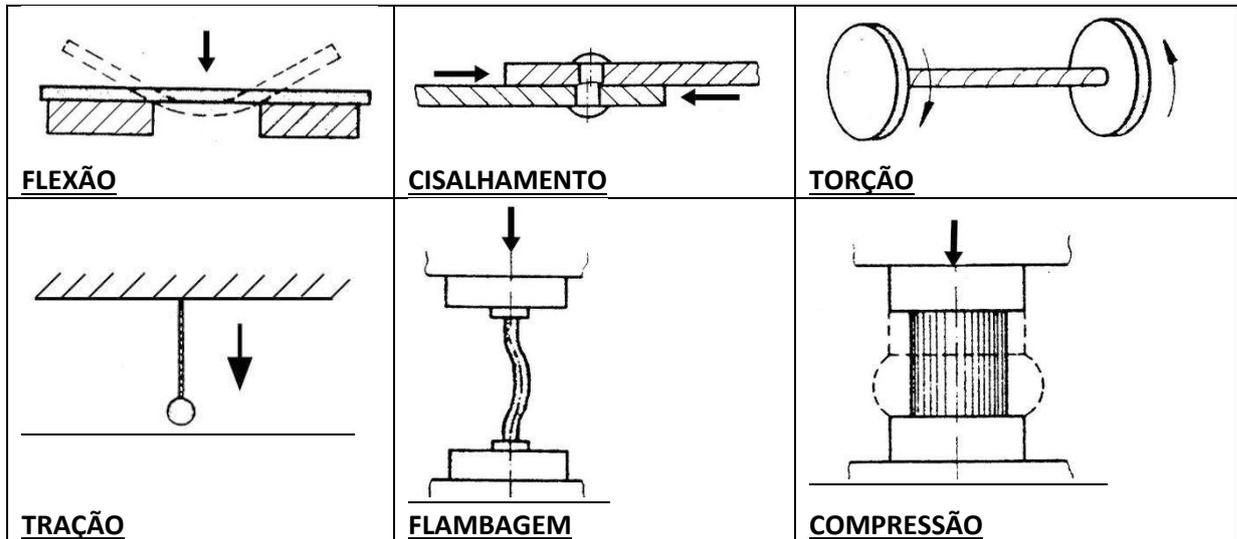
- Zona Fundida (ZF): é a região onde ocorreu a fusão e a posterior solidificação do material, através da ocorrência de temperaturas superiores a temperatura de fusão do metal soldado.
- Zona de Ligação (ZL): neste região ocorre a combinação química, física e mecânica dos materiais utilizados na soldagem.
- Metal Base (MB): essa região é a mais distante do processo de solda e não sofre alteração pelas altas temperaturas envolvidas durante o procedimento, mantendo as características originais do material.
- Zona Termicamente Afetada (ZTA): essa é uma das regiões mais importantes no processo de soldagem, pois as altas temperaturas acarretam mudanças estruturais no material, apesar de não ter sido uma região fundida. Isso faz com que tenha-se mudanças nas propriedades mecânicas do metal neste área, com um grande número de possíveis estruturas e propriedades diferentes, mas que podem ser controladas com o resfriamento da peça. O aporte do calor, a espessura do material de base e as temperaturas aplicadas no cordão podem alterar os efeitos do resfriamento no ZTA.
- Cobre-Junta: é um dispositivo fabricado em cobre ou cerâmica que serve para alinhar a junta e diminuir a dissipação do calor na região soldada.

2.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS

Ao realizar um serviço, um material está constantemente exposto a esforços mecânicos, que são forças ou cargas que agem sobre ele. Nessas situações, conhecer as suas características mecânicas é essencial para garantir que o material não sofra deformações excessivas ou fraturas, pois essas propriedades estão relacionadas diretamente com sua resposta em relação à carga ou força aplicada sobre ele (Dutra; Freitas, 2010).

Ao construir peças e componentes, deve ser analisado se o material possui as diversas propriedades físicas e mecânicas que serão de exigência devido ao serviço que será empregado. É importante ressaltar que as cargas a que o material estará submetido podem ser de tração, compressão, torção, flexão, cisalhamento ou flambagem (Figura 6) (SENAI, 2007).

FIGURA 6 – TIPOS DE ESFORÇOS MECÂNICOS



Fonte: SENAI, 2007.

A seguir são mostradas algumas dessas propriedades (SENAI, 2007):

- **Deformação:** todo material exposto a algum tipo de esforço se deforma. Existem dois tipos de deformação, a plástica e a elástica. Na deformação plástica o material se deforma permanentemente após a cessação da aplicação de tensão, não voltando à sua forma original. Já na elástica, o material tende a voltar a sua forma original após o término da aplicação da força.

- **Resistência mecânica:** está relacionada à capacidade que todo material têm (maior ou menor) de resistir a um determinado tipo de esforço. Pode-se analisar a resistência de um material pelo tempo e pela quantidade de força necessária para fazer um material deformar. Por exemplo, quando dois materiais são submetidos a um mesmo tipo de esforço, àquele que se deforma permanentemente primeiro será o de menor resistência a este tipo de esforço.

- **Fragilidade:** é a baixa resistência de um material a choques e pancadas, como vidros, pois não tendem a se deformar de maneira alguma.

- **Ductilidade:** de certo modo a ductilidade figura como o oposto da fragilidade, pois materiais que apresentam essa característica se deformam plasticamente sob a ação de uma força, mantendo a sua proporcionalidade. Exemplos são materiais que formam fios, como o cobre.

- Tenacidade: é a capacidade que determinado material tem de suportar um esforço grande de flexão, torção ou tração, sem romper-se, a exemplo de chaves de aperto de parafusos.
- Elasticidade: é a capacidade de um material de sofrer esforços e deformar-se, porém voltando à posição original uma vez que a tensão aplicada é interrompida. Molas, por exemplo, devem ser elásticas.
- Dureza: um material que é considerado duro tem a capacidade de penetrar com mais facilidade em outro material menos duro, por isso define-se dureza como a capacidade do material de oferecer resistência à penetração de outro.

2.4 MICROGRAFIA

É importante começar dizendo que os metais são agregados cristalinos onde nos cristais podem ter composições químicas idênticas ou não. Serão idênticos no caso de metais puros, e não idênticos no caso de ligas, como o próprio ferro carbono. Esses ditos cristais são conhecidos como grãos, porém podem ter formas e aspectos diferentes, sendo chamados também de nódulos, veios, agulhas, glóbulos, entre outros. Esses grãos podem ser enxergados com a utilização de técnicas especiais, conhecidas como micrografias (COLPAERT, 1974).

“A metalografia microscópica (ou micrografia dos metais) estuda os produtos metalúrgicos, com o auxílio do microscópio, visando a determinação de seus constituintes e de sua textura. Este estudo é feito em superfícies previamente polidas e, em geral, atacadas por um reagente adequado” (COLPAERT, 1974, p. 121).

As propriedades mecânicas de um metal dependem não somente de sua composição química, mas também de sua microestrutura, daí a importância desse tipo de estudo metalográfico. Um metal pode ter diferentes tipos de propriedades mecânicas, como dureza, tenacidade, elasticidade, etc., dependendo do tipo de textura que apresentar em sua micrografia, e esta pode ser alterada por meio de tratamentos térmicos ou trabalhos mecânicos realizados no metal (COLPAERT, 1974).

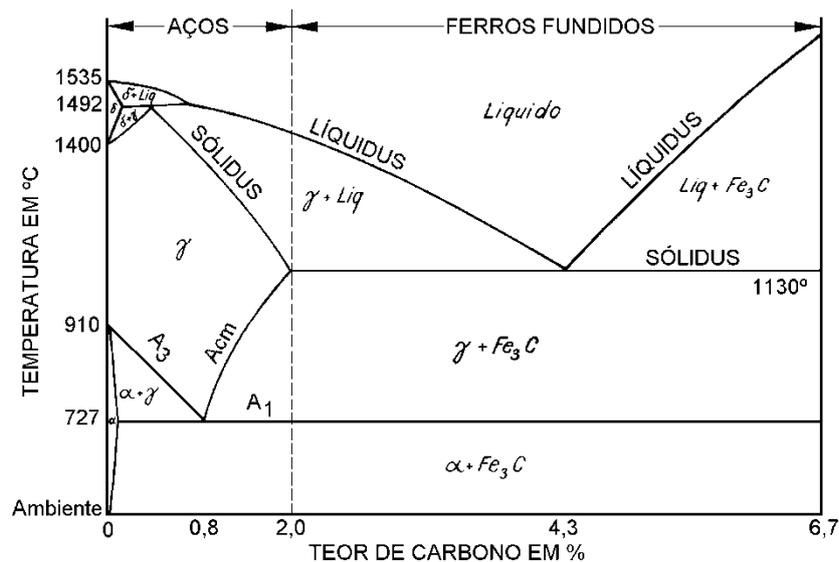
Assim sendo, é válida a análise feita por Colpaert (1974, p. 122): “Se por um lado, a análise química revela de que se compõem o metal, os exames macro e micrográfico fornecem preciosas informações sobre como o metal adquiriu as propriedades que apresenta.”

Alguns materiais, como o aço, possuem propriedades (ou variações) alotrópicas, que são estruturas cristalinas que se alteram em função da temperatura ao qual o material é exposto, que são conhecidas como temperaturas de transição. O ferro possui 3 dessas

variações alotrópicas, o ferro delta ($\text{Fe } \delta$), o ferro gama ($\text{Fe } \gamma$) e o ferro alfa ($\text{Fe } \alpha$), conforme apresentado a seguir (UFPR, 2017).

Até 910°C o ferro possui uma estrutura cristalina cúbica de corpo centrado (CCC), chamada de *ferro alfa*. Acima de 910°C passa a possuir uma estrutura cúbica de face centrada (CFC), conhecida como *ferro gama*. A partir dos 1400°C o ferro volta para a estrutura cúbica de corpo centrado, porém mais estável e o metal apresenta-se próximo da temperatura de fusão, denominada *ferro delta*. Adicionar carbono à mistura provoca modificações nas temperaturas em que as transformações alotrópicas acontecem, pois age como estabilizante para o ferro gama. É interessante ressaltar que a solubilidade do carbono em cada uma dessas formas alotrópicas é muito diferente e pode variar consideravelmente com a temperatura, como é mostrado no diagrama ferro-carbono (Figura 7) (COLPAERT, 1974).

FIGURA 7 – DIAGRAMA FERRO-CARBONO



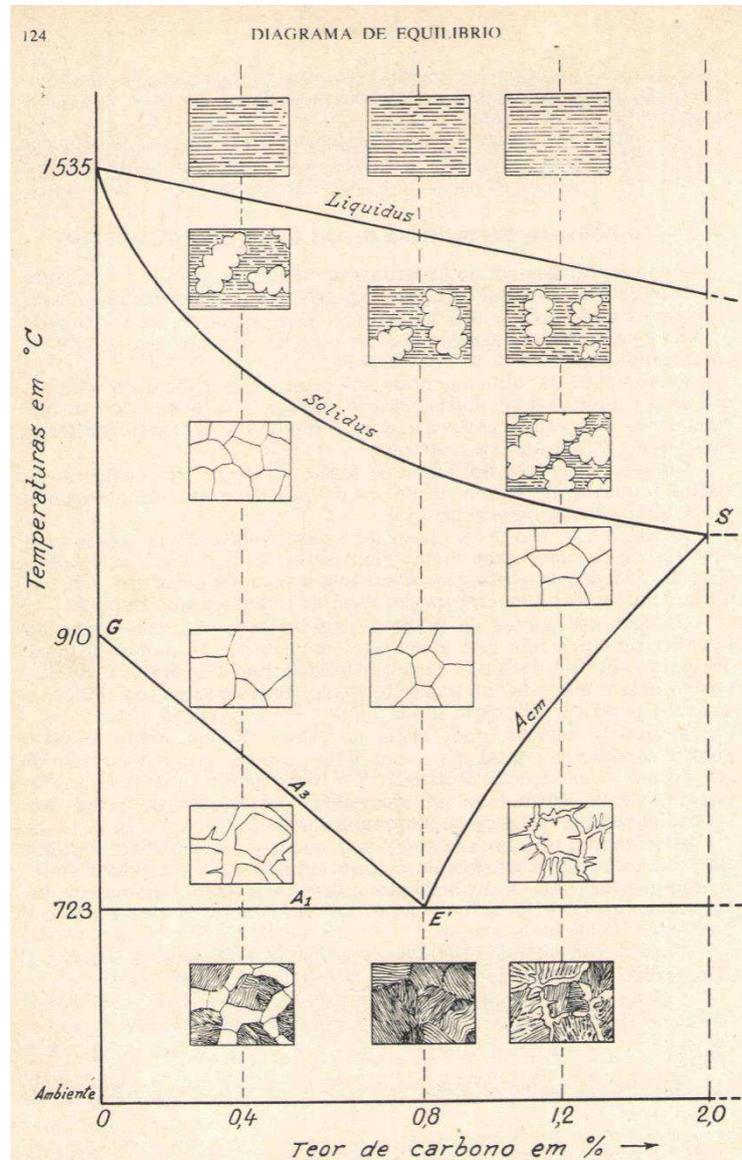
Fonte: SENAI, 2011.

Em ordem de melhorar a compreensão e levando em consideração o tema proposto para o atual trabalho, apresentar-se-á o diagrama de equilíbrio dos aços, com porcentagem de carbono entre 0% e 2% (Figura 8).

Como mencionado, o aço é constituído basicamente de ferro e carbono. Quando o aço funde, o carbono transformado presente na mistura e chamado de carboneto de ferro, dissolve-se inteiramente na massa líquida, transformando-se juntamente com o ferro em uma mistura homogênea. Quando o metal volta a esfriar, verifica-se que cada aço possui uma temperatura de solidificação de acordo com a porcentagem de carbono presente na mistura ferro-carbono. No diagrama, a linha *liquidus* define que acima dela teremos o metal completamente em estado líquido. A linha *solidus* define que, abaixo dela, o metal está completamente sólido.

Entre elas, então, teremos um estado em que parte do material ainda está sólida enquanto a outra parte está se liquefazendo, conforme a Figura 8 (COLPAERT, 1974).

FIGURA 8 – DIAGRAMA DE EQUILÍBRIO DOS AÇOS



Fonte: COLPAERT, 1974.

Como pode ser observado nos diagramas apresentados, a porcentagem de carbono altera consideravelmente o comportamento alotrópico do ferro, bem como a temperatura em que a mistura ferro-carbono se encontra. Abaixo são apresentadas algumas denominações utilizadas para definir formas alotrópicas do carbono dentro do diagrama, segundo a UFPR (2017):

- Austenita: é o nome do carbono em solução sólida presente no ferro gama apenas;
- Ferrita: é o nome dado ao carbono em solução sólida no ferro alfa, costuma aparecer em tonalidades claras ou brancas em micrografias;

- Cementita: é o nome dado ao carboneto de ferro (união química entre ferro e carbono em forma de carbetos Fe_3C) e aparece em tons muito escuros ou pretos;
- Perlita: União entre as estruturas de ferrita e cementita e aparece em tons de colocação escura ou preta;
- Martensita: é um componente estrutural do aço que se apresenta, por exemplo, em processos de têmpera, onde após o aquecimento é realizado um resfriamento relativamente rápido. É bastante duro (50 a 60 HRC) e resistente à tração.

O ferro gama, conhecido como *austenita*, permanece nessa forma até atingir a linha representada por GE'S no diagrama. Abaixo dessa linha, a austenita sofre progressivas mudanças até a temperatura de $723^{\circ}C$. Qualquer estrutura cristalina que os aços venham a apresentar abaixo da linha que representa os $723^{\circ}C$, desde que resfriados lentamente, permanecem até galgarem a temperatura ambiente (COLPAERT, 1974).

As linhas compostas pelos pontos GE'S são chamadas de linhas de transformação, pois representam o começo e o final das transformações do aço no estado sólido, e área formada por elas é chamada de zona crítica. Exatamente no ponto E temos uma concentração de 0,76% de carbono. Esse ponto é conhecido como ponto eutetóide (COLPAERT, 1974).

A solubilidade do carbono no aço pode variar consideravelmente dependendo da temperatura e do tipo de estrutura alotrópica encontrada. No caso da ferrita, sua solubilidade gira em torno de 0,008% e pode ser considerada nula. Dito isso, em aços com baixa concentração de carbono, a ferrita é quase que a totalidade da microestrutura, tornando-a uniforme ao microscópio (Figura 9a) (UFPR, 2017).

Em aços resfriados lentamente, a estrutura encontrada em sua micrografia denomina-se perlita (Figura 9b), que é a junção de camadas em pequenas estruturas laminares de ferrita com cementita (UFPR, 2017).

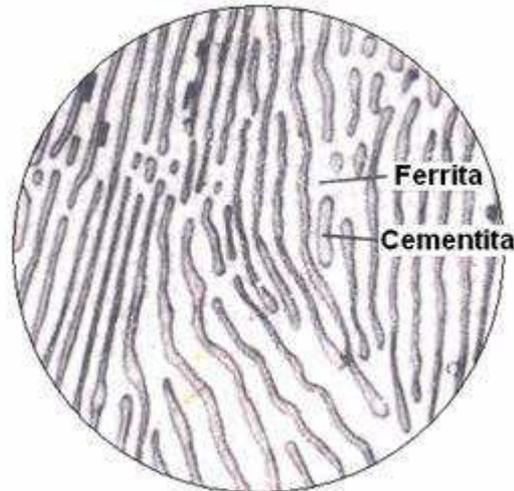
FIGURA 9 – MICROGRAFIA DE AÇO COM TERO DE CARBONO ABAIXO DE 0,8%



Fonte: MADEIRA – UFPR, 2017

A estrutura laminar da perlita só pode ser vista em microscópios com grande capacidade de ampliação (Figura 10) (UFPR, 2017).

FIGURA 10 – REPRESENTAÇÃO DA AMPLIAÇÃO DE UMA ESTRUTURA DE PERLITA



Fonte: Chavarria (2017).

2.5 VARIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DO AÇO EM RELAÇÃO AO TEOR DE CARBONO

O carbono encontrado em aços comuns forma um carboneto com o ferro, que é excepcionalmente duro. Sendo assim, quanto maior a quantidade de carbono presente na mistura do aço, maior a proporção de carboneto e, por consequência, mais duro será o metal. Isso caracteriza uma maior resistência a esforços de tração. Em contrapartida, o aço torna-se menos dúctil e menos maleável, podendo inclusive tornar-se quebradiço quando com teores acima de 0,8% de carbono (COLPAERT, 1974).

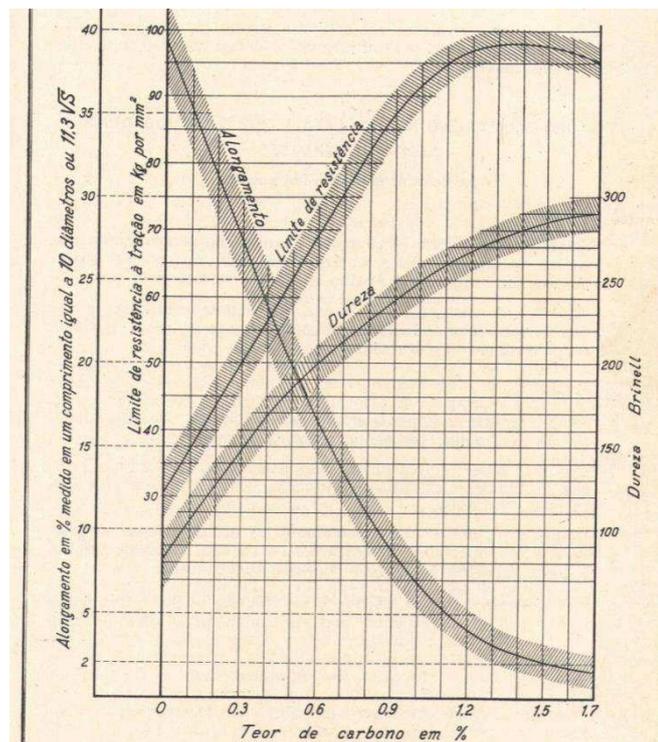
Quando um material é formado por diferentes grãos constituintes, o grão de um dos constituintes envolverá outro grão constituinte, fazendo com que as propriedades do metal tendam a ser relacionadas às do grão envolvente (COLPAERT, 1974).

Sendo assim, em aços com porcentagem de carbono inferior à 0,8% o constituinte envolvente da perlita é a ferrita, que é tenaz e dúctil, fazendo com que esse material seja bastante deformável em temperatura ambiente. Quanto mais ferrita encontrada, mais maleável é o aço. Em contrapartida, com uma porcentagem de carbono acima de 0,8%, o envolvente é a cementita, que é muito dura e quebradiça, fazendo com que esse tipo de metal seja mais quebrável em temperatura ambiente (COLPAERT, 1974).

Em se tratando de ligas ferro-carbono normais (sem adição de elementos de liga), lentamente esfriadas, a alteração de propriedades mecânicas depende do teor de carbono do aço. Na Figura 11 observa-se alteração dessas propriedades na medida em que o teor de carbono aumenta. Em sequência, apresenta-se uma interpretação comum do que acontece no gráfico da Figura 11 (COLPAERT, 1974):

- A resistência máxima a tração dar-se-á com aproximadamente 1% de carbono, caindo conforme a porcentagem de carbono aumenta;
- A dureza do aço é diretamente proporcional ao aumento da porcentagem de carbono;
- O alongamento do aço decai rapidamente com o aumento da porcentagem de carbono, o que leva o material a se tornar mais frágil.

FIGURA 11 – GRÁFICO DA VARIAÇÃO DE ALGUMAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AÇO COMUM EM RELAÇÃO AO TEOR DE CARBONO E ESFRIADOS LENTAMENTE



Fonte: COLPAERT, 1974.

3 METODOLOGIA

3.1 INTRODUÇÃO

Qualquer tipo de pesquisa tem início a partir da inquietação do indivíduo em relação a algum tema que gostaria de abordar. Sendo assim é muitas vezes necessário realizar-se uma pesquisa científica para determinar a causa e/ou a solução dessa situação. Uma pesquisa científica é composta de um problema a ser abordado, de uma metodologia e de uma conclusão. Sem um desses fatores a pesquisa é meramente uma redação (FONTENELLE, 2017).

Para que seja uma verdadeira pesquisa científica, é necessário que se tenha especial atenção em relação ao método científico utilizado, ou seja, uma metodologia que já é conhecida pela ciência como os mais adequados para se executar uma investigação sobre determinado tema. Essa metodologia pode ser dividida em: elementos essenciais e elementos complementares (FONTENELLE, 2017).

Elementos essenciais estão relacionados, respectivamente, à finalidade, objetivo, abordagem, método e procedimentos utilizados no trabalho. Já os complementares dizem respeito a detalhes ou esclarecimentos que possam ser necessários para o trabalho como um todo ou parte dele, como tipos de instrumentos para coleta de dados, variáveis, dimensões consideradas e etapas de desenvolvimento (FONTENELLE, 2017).

É de extrema importância que, no mínimo, os cinco métodos essenciais sejam levados em consideração para que o trabalho tenha status de trabalho científico propriamente dito. (FONTENELLE, 2017).

3.2 QUANTO À FINALIDADE

A exploração do trabalho pode ser dividida em pesquisa básica ou pesquisa aplicada, sendo que a básica pode ser considerada básica pura ou básica estratégica. (FONTENELLE, 2017).

Pesquisa básica é aquela em que o autor busca apenas o aprofundamento do conhecimento já disponível sobre determinado tema ou assunto. Normalmente é usada em estudos que envolvem muito mais a teoria que a prática (FONTENELLE, 2017).

A básica pura é voltada ao debate, sem partir de uma situação específica, não se importando necessariamente com possíveis benefícios que o estudo pode vir a obter. Na básica estratégica também não há uma situação específica como ponto de partida, porém há certo interesse do autor nos resultados obtidos do estudo e nas consequências dos mesmos. A básica estratégica não almeja a resolução de um problema, mas propõem recomendações diante de situações-problema já conhecidos (FONTENELLE, 2017).

Em relação à pesquisa aplicada, é pretendida pelo autor a solução de algum tipo de problema previamente conhecido, que deverá ser mencionado no corpo do trabalho. Serve, portanto, para colocar o conhecimento adquirido na prática e causar alguma alteração real e prática. É bastante utilizada quando a finalidade é, por exemplo, a melhoria de determinado processo, serviço, produto ou comportamento (FONTENELLE, 2017).

3.3 QUANTO AOS OBJETIVOS

Os objetivos aqui retratados não devem ser confundidos com os objetivos gerais e específicos do trabalho, pois ela trata basicamente dos propósitos gerais. Sendo assim, a investigação sobre o tema deverá obter a classificação como descritiva, explicativa ou exploratória (FONTENELLE, 2017).

A pesquisa descritiva relata o objeto de estudo de acordo com suas características, atentando-se à análise e classificação de fenômenos ou fatos que levaram às variáveis estudadas no trabalho. Costumeiramente, parte de algum problema ou situação já constatado, coletando-se informações sobre o assunto e propõem-se soluções ou recomendações para o tema. É bastante utilizado em trabalhos de conclusão de curso (FONTENELLE, 2017).

Pesquisas exploratórias partes do princípio da inovação, uma vez que buscam analisar situações pouco conhecidas, tornando-as claras e propondo novos problemas ou soluções sobre elas. É bastante utilizada quando o conhecimento sobre o tema é escasso, sendo considerada quase uma pesquisa pioneira e deve ser utilizada com cautela pois tudo deve ser evidenciado de acordo com a ciência conhecida e não apenas com a opinião pessoal do autor (FONTENELLE, 2017).

A pesquisa explicativa é a mais complexa de todas e normalmente é utilizada em cursos de pós-graduação, como mestrados e doutorados, pois busca analisar razões, motivos e causas das coisas. Normalmente esse tipo de pesquisa é antecedida por uma investigação descritiva, servindo então como uma espécie de continuação, e busca-se um conhecimento

novo e completamente desconhecido em relação ao objeto de estudo. É utilizada em pesquisas experimentais, observacionais ou *ex post facto* (termo em latim muito utilizado em direito que significa “depois do fato” e faz jus a uma análise feita a partir de algo que aconteceu e pretende-se saber por que aconteceu) (FONTENELLE, 2017).

3.4 QUANTO À ABORDAGEM

É possível que o trabalho seja elaborado considerando três tipos de abordagem: a quantitativa, a qualitativa ou a mista (conhecida também como quali-quantitativa). (FONTENELLE, 2017).

Em relação ao tipo qualitativo, esse tipo de ferramenta analisa a coleta de dados fazendo com que o autor busque o significado das coisas através de conceitos e princípios. É um critério valorativo, e pouco numérico ou exato. Sendo assim, esse tipo de abordagem não favorece análises estatísticas (FONTENELLE, 2017)..

Uma abordagem quantitativa significa que o autor irá utilizar de ferramentas exatas e de técnicas estatísticas para analisar o trabalho, correlacionando os dados de maneira quase estritamente numérica e precisa. Assim sendo, é possível analisar apenas dados que possam ser medidos e quantificados, pois não é possível interferir na análise dos resultados. É muito comum que se obtenham conclusões baseadas em probabilidade nesses casos. É uma abordagem bastante utilizada em mestrados e doutorados, principalmente na área de exatas (FONTENELLE, 2017).

Apesar de parecerem excludentes, por serem tão diferentes, as abordagens qualitativa e quantitativa podem trabalhar juntas. Pois parte do trabalho pode ser qualitativo e a outra parte quantitativo, tornando-se um estudo quali-quantitativo (ou misto) (FONTENELLE, 2017).

3.5 QUANTO AO MÉTODO

Existem quatro tipos de métodos que podem ser utilizados no trabalho: o indutivo, o dedutivo, o hipotético-dedutivo e o dialético (FONTENELLE, 2017).

O método indutivo utiliza particularidades para descrever uma situação geral, ou seja, observa-se fenômenos individuais e busca-se generalizá-los em torno de algo que tenham em comum. Por exemplo, ao dizer que cachorros, gatos e cavalos tem pelos, é possível através do método de indução concluir que todos os mamíferos tem pelos. Nesse caso, as premissas

utilizadas podem ser todas verdadeiras e a conclusão ser falsa, pois não há garantia (como no exemplo) de que todos os mamíferos tenham pelos, mas os apresentados com certeza têm. Portanto, o método indutivo trabalha com probabilidades e não com garantias (FONTENELLE, 2017).

O método dedutivo é o oposto do indutivo. Neste caso, busca-se uma situação geral para explicarem-se individualidades a cerca de um objeto de estudo. Seria como dizer que todas as frutas têm sementes e se maçãs e melancias são frutas, então elas, individualmente, têm sementes. Nesse tipo de análise, a conclusão obrigatoriamente que ser verdadeira, pois se for falsa, isso significará que uma das premissas também é falsa, inviabilizando a análise dos dados e do trabalho como um todo (FONTENELLE, 2017).

No método hipotético-dedutivo é feita uma análise de tentativas e erros. Ele não visa a verdade absoluta, busca apenas num processo contínuo de estudos, a melhor hipótese para a resolução ou explicação de um problema, ou seja, quer se aproximar ao máximo da verdade. O autor deve identificar um problema, descartar hipóteses que não condizem com os testes aplicados e obter a melhor conclusão sobre o assunto (FONTENELLE, 2017).

O método dialético possui três etapas distintas, mas que se completam: a tese, a antítese e a síntese. A tese é uma ideia inicial já tida como verdadeira, a partir dela, o autor do trabalho propõe uma teoria que irá contradizer esta tese. Após confrontar ambas, o autor gera a síntese como resultado da ponderação entre a tese e a antítese, criando uma nova tese. Essa nova tese pode vir a se tornar o ponto de partida para novos estudos por novos autores, criando um ciclo dialético de busca por conhecimento (FONTENELLE, 2017).

3.6 QUANTO AOS PROCEDIMENTOS

Essa é a forma mais abrangente de caracterização e possui dez classificações, que não são excludentes entre si, pelo contrário, podem ser mescladas para tornar a metodologia do trabalho ainda mais rica em detalhes. São elas: bibliográfica, documental, estudo de caso, experimental, pesquisa de campo, *ex post facto*, levantamento, ação e participante (FONTENELLE, 2017).

A pesquisa bibliográfica é a mais comum dentre as utilizadas em trabalhos de conclusão de curso e baseia-se na investigação de livros, artigos e outras literaturas científicas já publicadas. Desse modo relaciona-se características, conceitos e ideias sobre determinado assunto, comparando-se as várias proposições sobre um problema e buscando-se uma

conclusão a partir das interpretações do autor sobre os textos. Mesmo que um trabalho possua estudo de caso, haverá sempre uma revisão bibliográfica sobre o mesmo. Quando há apenas teoria, deve-se ter cuidado para que o estudo não se torne meramente uma coletânea de ideias e conceitos de diferentes literaturas, procurando-se criar uma atmosfera de problematização sobre o tema a ser estudado (FONTENELLE, 2017).

A pesquisa documental utiliza fontes fora da literatura científica, ou seja, os documentos utilizados podem ser catálogos de empresas, textos de entidades públicas, cartas, diários, fotografias, imagens, enfim, uma gama de outros artigos que não são considerados como fonte científica de informação (FONTENELLE, 2017).

No estudo de caso, o autor busca retratar determinadas características do problema ou do objeto de estudo, não permitindo a generalização do mesmo, ou seja, o objetivo é encontrar as particularidades do tema estudado. Não se exige métodos rígidos para a realização de um estudo de caso, o que significa que entrevistas, questionários e outros documentos também são válidos na sua elaboração (FONTENELLE, 2017).

A pesquisa experimental, como é de se esperar, baseia-se na exploração laboratorial do objeto estudado. Pode ser dividida em 4 modelos. No primeiro, separa-se o objeto em dois grupos, enquanto um deles fica isolado o outro sofre algum tipo de influência. Depois é feita uma comparação entre o grupo que sofreu e o que não sofreu influências. No segundo modelo, ambos os grupos podem sofrer aplicações de influências e analisar se a impressão entre eles foi uniforme. No terceiro tipo, analisa-se apenas um grupo antes e depois de uma interferência externa. E no quarto e último modelo, é possível analisar as diferenças entre dois grupos antes e depois da aplicação de intervenções externas (FONTENELLE, 2017).

No caso da pesquisa *ex post facto* o estudo é feito após a ocorrência da interferência sobre o objeto. Pode parecer muito semelhante à pesquisa experimental, mas não é, pois na *ex post facto* o autor não tem controle sobre a variável envolvida. Seria como implantar uma nova legislação em uma cidade, por exemplo. O autor não tem controle sobre essa variável, mas precisa encontrar uma cidade que tenha as mesmas características e não tenha sofrido essa alteração na lei, para que possa comparar os efeitos de ambas após determinado tempo de implantação (FONTENELLE, 2017).

O método de pesquisa de campo é o oposto ao da exploração laboratorial, pois o autor do trabalho vai pessoalmente até o local onde coletará os dados e os estudará, diretamente. É necessário que ele defina de maneira concisa e precisa que tipos de amostras irá estudar, como

ira coletá-las e como fará o registro e a análise desses objetos de estudo (FONTENELLE, 2017).

A pesquisa de levantamento é realizada estritamente sobre os comportamentos de uma determinada população. Utiliza-se principalmente da consulta direta com as pessoas, tendo como ferramenta principal algum tipo de questionário. Seu método de análise é por amostragem e utiliza técnicas de controle estatístico para generalizar os resultados, valendo-se, portanto, como quantitativa. Pesquisas de intenção de voto são um exemplo claro de pesquisas de levantamento (FONTENELLE, 2017).

A pesquisa-ação é baseada no envolvimento do autor do trabalho para com uma determinada comunidade. Neste caso, o autor identifica um problema, propõem uma solução, implanta-a e analisa as mudanças ocorridas após a sua implantação, restando apenas fazer a análise dos dados obtidos (FONTENELLE, 2017).

Por ultimo, a pesquisa-participante se assemelha à pesquisa-ação, pois o autor do trabalho deve se inserir no meio que será estudado. Porém, neste caso, o autor não realiza ou propõem ações para resolver um problema, ele apenas se introduz no grupo estudado a fim de adquirir maior conhecimento sobre aquela comunidade, por ele. É uma exploração descritiva e qualitativa (FONTENELLE, 2017).

3.7 MÉTODOS UTILIZADOS NESTE TRABALHO

Como visto, a classificação correta das etapas de um trabalho científico definem de que maneira o autor irá realizar determinado estudo. Sendo assim, analisando os elementos constituintes de uma metodologia, pode-se definir o atual trabalho da maneira que se segue:

- Quanto à finalidade: Básica Estratégica;
- Quanto ao objetivo: Exploratória;
- Quanto à abordagem: Quali-quantitativa (ou mista);
- Quanto ao método: Dedutivo;
- Quanto aos procedimentos: Bibliográfica e Experimental, uma vez que as amostras foram testadas exclusivamente em laboratório.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 SOLDAGEM

Para a etapa de soldagem, foram utilizadas três configurações diferentes para a junta de solda, o que permite analisar possíveis mudanças estruturais em relação à diluição do material na região do cordão de solda.

Por juntas, subentende-se a configuração em que as chapas serão alocadas uma em relação à outra, de modo a se realizar o cordão de solda entre elas. São elas:

Junta de topo (Figura 12) compreende a soldagem das chapas sem acabamento no chanfro. Isso significa que a junta onde será realizada a solda terá as suas seções transversais expostas frente a frente, sem nenhum tipo de acabamento. Deste modo, a região onde será realizado o cordão de solda possuirá duas faces com ângulos retos, separados por um espaçamento de aproximadamente três milímetros.

FIGURA 12 – JUNTA DE TOPO



Fonte: Elaborado pelo autor.

Junta chanfrada (Figura13) possui as extremidades chanfradas à um ângulo de 30° e uma aproximação de aproximadamente 2 milímetros entre chapas. Esse tipo de configuração é muito utilizada quando se quer dar mais profundidade ao cordão de solda.

FIGURA 13 – JUNTA CHANFRADA

Fonte: Elaborado pelo autor.

Sobre-chapa (Figura 14) é a solda realizada em cima da superfície da chapa, ou seja, o não é necessário mais de uma chapa para a realização do procedimento de soldagem, uma vez que este será feito na superfície do material de base.

FIGURA 14 – SOBRE-CHAPA

Fonte: Elaborado pelo autor.

Foram utilizadas chapas de aço SAE 1020 com $\frac{1}{4}$ " (um quarto de polegada) de espessura e dimensões de 50x200 mm.

O processo de soldagem utilizado foi o MIG/MAG Mecanizado, utilizando-se de 75% de argônio e 25% de CO₂ para a mistura do gás de proteção.

O transformador de solda utilizado foi um IDEALARC PULSE POWER 500 da fabricante Lincoln ArcWelder (Figura 15).

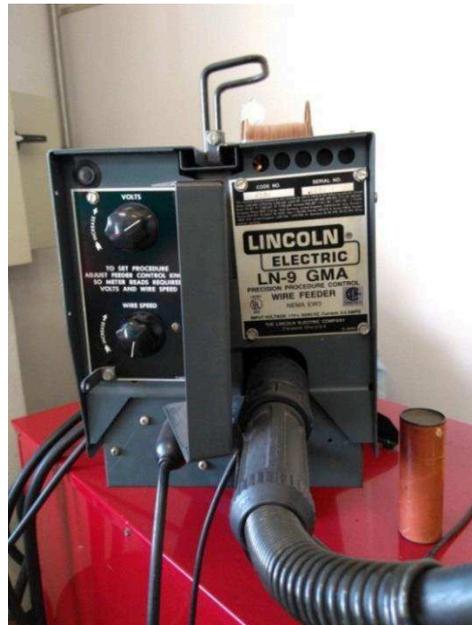
FIGURA 15 – TRANSFORMADOR DE SOLDA



Fonte: Elaborado pelo autor.

O alimentador do arame foi um LN-9 GMA da mesma fabricante do transformador (Figura 16).

FIGURA 16 – ALIMENTADOR DE ARAME



Fonte: Elaborado pelo autor.

O carrinho utilizado para a mecanização do processo foi CG1-30 da fabricante UNI-ARC Soldas Automáticas (Figura 17)

FIGURA 17 – CARRINHO MECANIZADO PARA SOLDA MIG/MAG



Fonte: Elaborado pelo autor.

O arame utilizado no processo é do mesmo material da chapa, com 0,8mm de espessura.

A altura do bico à peça, conhecida como stickout foi de 18mm, utilizando-se de um padrão para a regulagem, conforme Figura 18.

FIGURA 18 – MATRIZ PARA STICKOUT



Fonte: Elaborado pelo autor.

Todos os equipamentos citados formam o conjunto de soldagem representado na Figura 19, compreendendo o transformador de solda, o alimentador de arame e o carrinho de locomoção do bico de solda.

FIGURA 19 – CONJUNTO COMPLETO DE SOLDA, COM TRANSFORMADOR, ALIMENTADOR E CARRINHO.

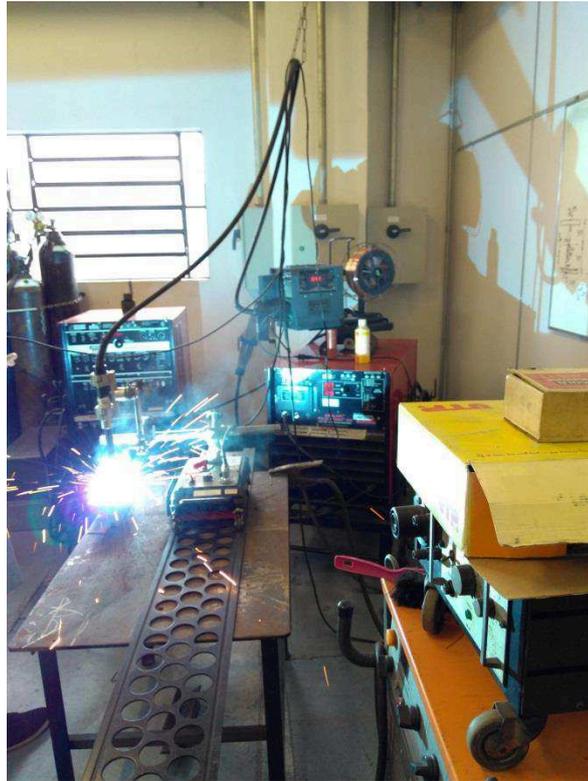


Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o processo de solda em si, foram utilizados dois tipos de parâmetros diferentes, em cada lado das chapas soldadas. Os parâmetros foram mantidos para todas as juntas. A alteração dos parâmetros dependendo da posição da chapa permite analisar melhor a diluição do material de adição em relação ao material base.

A Figura 20 mostra o processo de soldagem sendo realizado nas chapas, sendo que cada cordão de solda foi realizado em um único procedimento. Isso significa que não houveram interrupções durante o processo de solda, o que é comum em alguns casos, pois em algumas situações, manter um cordão de solda sendo realizado indefinidamente (mesmo que em um processo mecanizado) pode causar perfurações no material de base e prejudicar o procedimento.

Os fatores que fizeram com que o processo realizado fosse contínuo são a espessura elevada das chapas, o comprimento do cordão e os parâmetros utilizados durante o processo de soldagem.

FIGURA 20 – REALIZAÇÃO DA SOLDA

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 21 mostra as chapas após o processo de soldagem, com os seguintes parâmetros:

- Voltagem do equipamento: 24 V;
- Amperagem da máquina: 100 A;
- Velocidade do arame: 6 m/min;
- Avanço do carrinho: 200 mm/min;
- Stickout: 18 mm;
- Gás: 75% de argônio e 25% de dióxido de carbono.

No outro lado das chapas houve uma pequena alteração de parâmetros, que são mostrados a seguir e serão melhor visualizados na micrografia:

- Voltagem do equipamento: 22 V;
- Amperagem da máquina: 90 A;
- Velocidade do arame: 5 m/min;
- Avanço do carrinho: 200 mm/min;
- Stickout: 18 mm;
- Gás: 75% de argônio e 25% de dióxido de carbono.

Pode-se notar que a diminuição da tensão acarreta na consequente diminuição da amperagem. Foi necessário diminuir a velocidade de deposição do arame para melhorar penetração do mesmo no material base.

FIGURA 21 – CHAPAS SOLDADAS



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 MICROGRAFIA

Para a micrografia as amostras soldadas foram cortadas, na região da solda, com altura igual a 8mm e comprimento igual a 20mm, utilizando uma serra manual. Essas dimensões seguem as dimensões limites do equipamento, que opera embutimentos de 300 mm de diâmetro.

Cada uma das três amostras foi embutida utilizando baquelite vermelha ou preta, dependendo da disponibilidade, utilizando uma embutidora TEMPOPRESS 2, da marca Struers/PANAMBRA, conforme a Figura 22. Os suportes do equipamento para o embutimentos foram besuntados com uma fina camada de vaselina para facilitar a remoção das amostras. Utilizou-se uma pressão de 20kN para a prensagem da baquelite e um tempo de aquecimento de 13 minutos à 180°C, seguidos de 5 minutos de resfriamento com água.

FIGURA 22 – EMBUTIDORA

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após o embutimento, as amostras foram lixadas utilizando-se uma máquina de lixadeira rotativa modelo DP-10 da marca Struers/PANAMBRA, conforme a Figura 23.

FIGURA 23 – LIXADEIRA ROTATIVA

Fonte: Elaborado pelo autor.

A granulometria (mesh) das lixas utilizadas seguiu a seguinte sequência: 80, 120, 180, 220, 320, 400, 600, 1000, 1200 e 1500. Cada uma das lixas esteve em contato com a amostra por aproximadamente 3/5 minutos com uma pressão de aproximadamente 1kgf.

Após o processo de lixamento, as amostras foram polidas utilizando pasta de alumina, que é indicada para o polimento de aços de baixo teor de carbono, utilizando-se do mesmo

equipamento usado para o lixamento. Juntamente com a pasta, foram utilizados panos de polimento DBM específicos para a realização do processo.

Foram usadas pastas de aluminas com três diferentes números, que representam o tamanho do material abrasivo utilizado na mistura. Inicialmente o polimento foi realizado com a pasta número 4, marcada pela cor azul na Figura 23 e material abrasivo de 1 μm , pressionando levemente a amostra sobre o pano limpo e embebido com a pasta de polimento, realizando-se movimentos circulares contrários à rotação da máquina e fazendo uso de água destilada como lubrificante. Em sequência, o mesmo procedimento foi realizado com a pasta de número 3, marcada pela cor rosa na Figura 23 com material abrasivo de 0,3 μm . Por último, foi realizado o processo de polimento com a pasta de numeração 2, marcada pela cor verde na Figura 23 e material abrasivo de 0,05 μm .

Após o processo de polimento, as amostras foram atacadas quimicamente utilizando-se o reagente Nital, composto por 99% de álcool etílico e 1% de ácido nítrico. O reagente foi despejado em cada uma das amostras separadamente e foi dado um tempo de 30 segundos para que ele pudesse reagir corretamente com o material. Em seguida cada amostra foi limpa em água corrente e utilizou-se um secador para evitar que se formassem camadas de oxidação nos aços devido à ação da água.

Após o ataque as amostras foram analisadas por microscopia ótica em dois equipamentos distintos, para a obtenção de imagens de sua microestrutura.

O primeiro equipamento foi um estereoscópio AXIO modelo Stemi 2000-C (Figura 24) com lentes oculares da marca Zeiss de aumento igual a 10x e lentes objetivas também da marca Zeiss com aumento igual a 0,65x, totalizando uma ampliação de imagem de 6,5x. O estereoscópio possui uma câmera de alta resolução (5 megapixels) modelo AXIOcamERc5s com lentes Zeiss acoplada ao equipamento, que está conectada a um computador para que possam ser feitas as imagens das amostras.

FIGURA 24 – ESTEREOSCÓPIO AXIOS

Fonte: Elaborado pelo autor.

Neste equipamento foram realizadas imagens macroscópicas do material, para que fosse possível a análise das zonas compreendidas pelo material base, pelo cordão de solda e pela zona termicamente afetada, conhecida como ZTA.

Juntamente com o estereoscópio está acoplado um equipamento de fotoluminescência modelo CL 1500 ECO para auxiliar na iluminação das amostras, conforme a Figura 25.

FIGURA 25 – ESTEREOSCÓPIO COMPLETO

Fonte: Elaborado pelo autor.

Logo após as análises e fotografias utilizando-se o estereoscópio, as amostras foram submetidas à análise em um microscópio óptico metalúrgico da marca AXIO modelo ScopeA.1 (Figura 26), com lentes oculares da marca Zeiss com 10x de aumento e lentes

objetivas também da marca Zeiss intercambiáveis, com aumentos de 5x, 10x, 20x, 50x e 100x, totalizando, portanto, aumentos de imagem de 50x, 100x, 200x, 500x e 1000x.

FIGURA 26 – MICROSCÓPIO ÓPTICO METALÚRGICO



Fonte: Elaborado pelo autor.

O equipamento também conta com uma câmera fotográfica modelo AXIOcam ERc5s de 5 Megapixels de resolução conectada à um computador, para a realização das fotografias, onde serão analisadas as microestruturas e os contornos de grão das amostras.

4.3 DUREZA

O ensaio de dureza foi realizado num durômetro modelo RH – No. 3N, com capacidade para até 150 kg da empresa *Tokyo Testing Machine, MFG.Co. Ltda*, conforme apresentada na Figura 27. A máquina possui uma ponta de diamante com angulação de 120° e leitor analógico do valor encontrado.

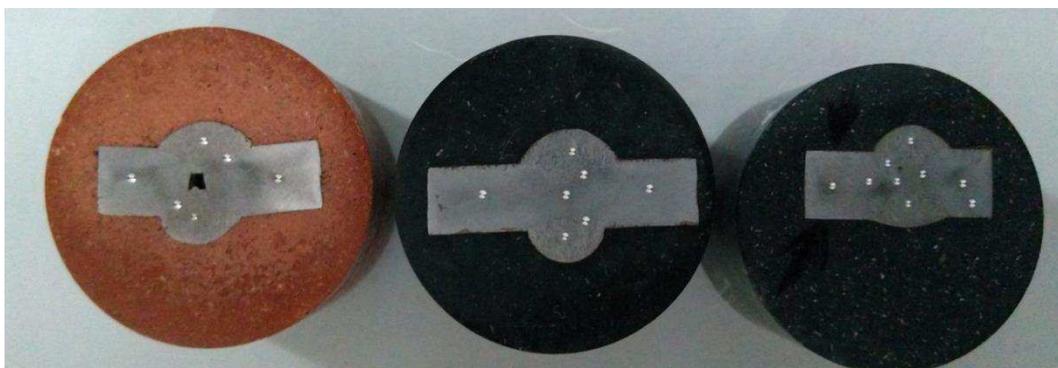
O teste consiste em aplicar uma pressão pré-estabelecida sobre a amostra a fim de analisar a resistência à deformação da mesma.

FIGURA 27 – MÁQUINA DE DUREZA ROCKWELL

Fonte: Elaborado pelo autor.

A escala utilizada para a medição da dureza foi a HRA, onde o H significa *Hardness* (DUREZA), o R significa *Rockwell* (tipo de dureza) e o A significa a escala que foi utilizada para a medição da peça. No caso, escala A significa que a pressão exercida sobre o material para a leitura da dureza utilizou um contrapeso de 60 quilogramas, suficiente para a realização do teste.

As amostras foram postas individualmente na máquina. Foram realizados puncionamentos nas regiões dos cordões de solda, nas zonas termicamente afetadas e nos materiais de base, para a comparação e discussão entre elas, conforme figura 28.

FIGURA 28 – AMOSTRAS APÓS ENSAIO DE DUREZA ROCKWELL

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em cada ponto de medição foi dada uma pré-carga de 10 kg antes de iniciar a pressão de 60 kg. O teste de dureza é considerado destrutivo, pois deixa marcas visíveis no material, conforme apresentado anteriormente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 OBJETIVO

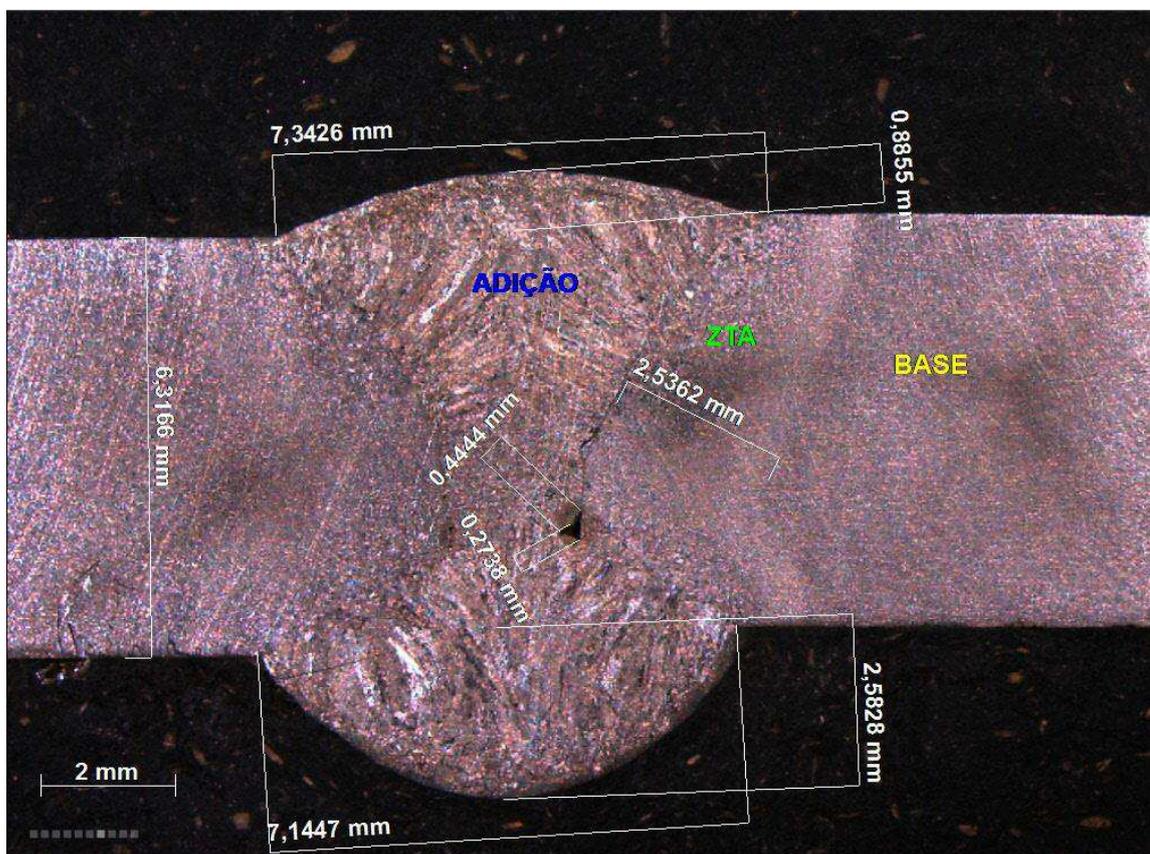
Nesta seção serão discutidos os resultados obtidos através da análise das amostras conforme foram realizadas e explanadas no capítulo anterior. Procurar-se-á a comparação dos resultados de acordo com a literatura existente sobre o tema, a fim de manter a veracidade e confiabilidade do experimento. Utilizar-se-á como referência para este capítulo o livro “Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns” de Hubertus Colpaert, conforme citado na bibliografia ao final do trabalho.

5.2 ANÁLISE MACROSCÓPICA

Essa parte do trabalho visa analisar macroscopicamente as amostras, suas dimensões e formatos. Todas as amostras foram medidas e suas regiões foram destacadas para a análise.

A Figura 29 mostra a macrografia da solda realizada nas chapas chanfradas. Como dito anteriormente, a amostra foi dimensionada e suas regiões foram destacadas e cotadas.

FIGURA 29 – MACROGRAFIA DA JUNTA CHANFRADA



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na parte superior da chapa chanfrada, os parâmetros de voltagem e amperagem foram de 24V e 100A, enquanto na parte inferior utilizou-se 22V e 90A. Nota-se uma elevada diferença de diluição em relação à parte superior e inferior, bem como uma grande diferença no formato e tamanho do cordão de solda. Na região onde a voltagem e a amperagem foram maiores o cordão de solda caracterizou-se por ser mais largo (7,3426 mm) e ter uma menor altura (0,8855 mm), em relação à região onde a voltagem e a amperagem foram inferiores, com largura de 7,1447 mm e altura de 2,5828 mm.

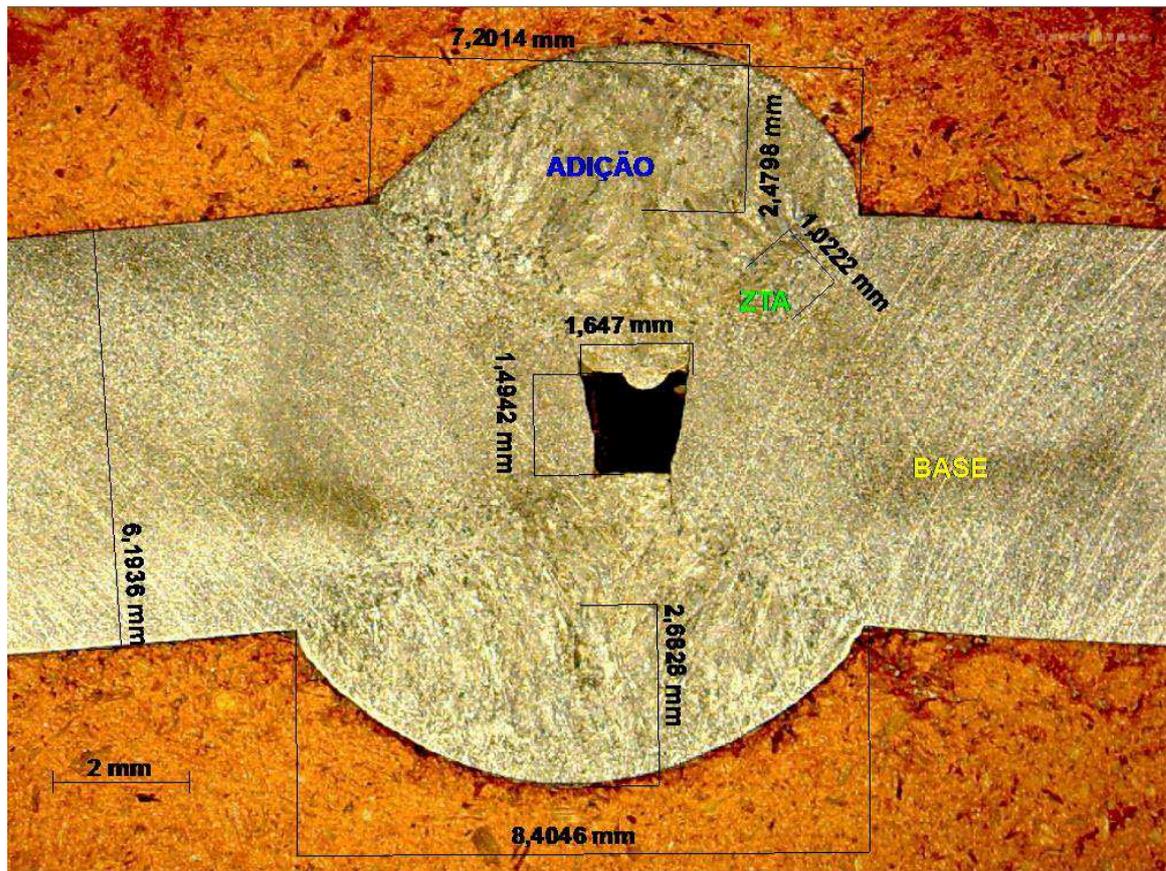
Nota-se um orifício triangular no centro do cordão de solda, com altura de 0,4444 mm e largura de 0,2738 mm. Esse furo é proveniente da falta de penetração do material de adição no material base durante o processo de soldagem.

Na solda realizada na chapa chanfrada as regiões compreendidas pelo material de adição, o material de base e a zona termicamente afetada (ZTA) estão bem nítidas. A ZTA possui um comprimento médio de 2,5362 mm e possui linhas divisórias bem nítidas em relação às zonas do material de adição e do material de base.

Já na macrografia percebe-se a diferença entre as linhas que compõem as zonas. O material de adição mostra-se com linhas mais alongadas, caracterizando tensão na região. Essa tensão advém da alta temperatura ocasionada pela solda e de uma possível alteração na composição do material de adição em relação ao material de base. Linhas alongadas mostram uma região com maior tensão, no caso, a região do cordão de solda. O material de base possui linhas de formato mais arredondado, pois não houve alteração em sua estrutura devido à alta temperatura. A ZTA apresenta linhas mais suaves, porém com algumas regiões de transição entre contornos mais alongados e contornos mais arredondados, confirmando ser então a zona transitória entre o metal base e o metal de adição.

A Figura 30 mostra a macrografia referente à solda realizada na Junta de Topo. A amostra também foi dimensionada e cotada utilizando-se os equipamentos citados no capítulo anterior. É importante ressaltar que a diferença na coloração do fundo da imagem dá-se em função do tipo de baquelite usada para o embutimento. No caso da junta soldada especificamente, a baquelite utilizada possuía coloração avermelhada, enquanto nas demais a baquelite possuía uma colocação preta. A diferença entre elas é apenas na coloração, não influenciando no embutimento ou nas características das amostras. Foram utilizadas cores diferentes devido à disposição de cada uma delas durante o processo de embutimento.

FIGURA 30 – MACROGRAFIA DA JUNTA DE TOPO



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na parte superior da imagem macrográfica da Junta de Topo foram utilizados como parâmetro de soldagem 22V e 90A, enquanto na parte inferior os parâmetros foram de 24 V e 100 A. É notável, devido ao orifício entre os dois cordões de solda com comprimento de 1,647 mm e altura igual a 1,4942 mm, que nenhum dos parâmetros foi suficiente para realizar uma diluição completa entre o material de adição e o material de base. Porém, é certo afirmar que a maior diluição e penetração ocorreram na região onde os parâmetros utilizados foram mais altos, devido ao tamanho e comprimento do cordão de solda.

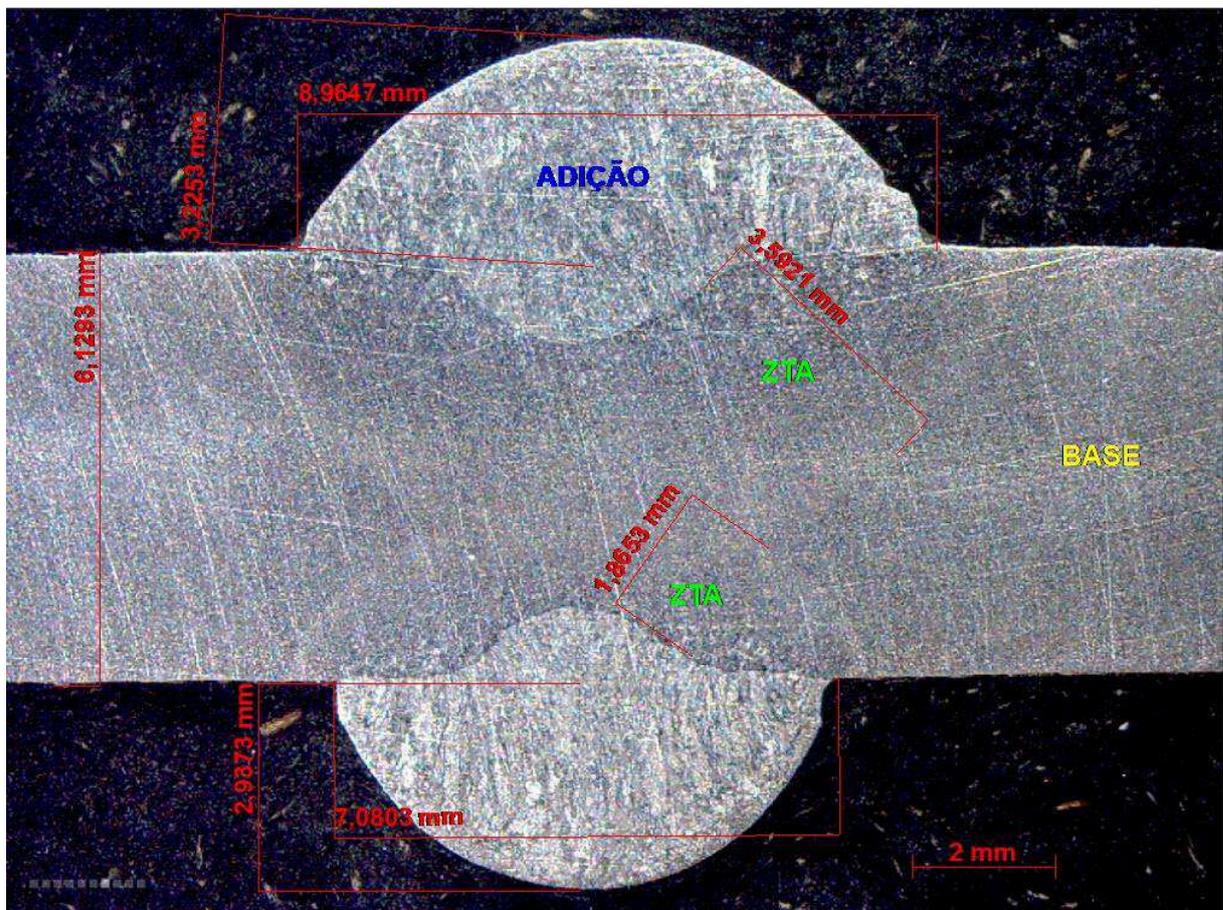
As regiões compreendidas pelo material de adição e o material de base estão bem nítidas, porém a zona termicamente afetada aparece muito singelamente, havendo a necessidade de um olhar treinado para identificá-la. A ZTA não se mostra muito larga e isso se deve ao fato de os parâmetros utilizados na soldagem não terem sido suficientes para que ocorresse a penetração. Outro fator que leva a isso é o tipo de junta utilizada, onde havia uma área de diluição maior do material de base para com o material de adição, ocasionando em uma ZTA menor.

As linhas que compõem as zonas de adição, base e ZTA, mostram-se relativamente semelhantes às linhas encontradas na Junta Chanfrada (Figura 26).

Na região compreendida pelo material de adição, as linhas que compõem a solda mostram-se mais alongadas devido ao estresse sofrido pelas altas temperaturas na hora da solda. Outro fator que pode ter ocasionado esses alongamentos nas linhas do material de adição é uma possível diferença na composição do material, consequentemente alterando a resistência termomecânica do mesmo. Essas linhas mostram que a região do cordão de solda é uma região notavelmente mais tensa que o resto do material. A região compreendida pelo material de base possui linhas levemente mais arredondadas. A ZTA, por sua vez, possui linhas que variam entre circulares e alongadas, provando mais uma vez ser a região de transição entre o cordão de solda e o material base.

A Figura 31 representa a macrografia referente à solda Sobre-Chapa. A amostra foi dimensionada e cotada, como as demais.

FIGURA 31 – MACROGRAFIA DA SOLDA SOBRE-CHAPA



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na parte superior da imagem da solda Sobre-Chapa, os parâmetros utilizados foram de 24V e 100A, e na parte inferior os parâmetros foram de 22V e 90A.

É bastante nítida a diferença de penetração em relação aos dois parâmetros. A região onde os parâmetros de voltagem e amperagem foram mais altos apresentou uma maior

penetração e diluição, enquanto a região de menor voltagem e amperagem apresentou uma menor penetração e diluição.

As linhas que compõem a amostra estão bem nítidas e é possível diferenciar as regiões compreendidas pelo material de adição, pelo material de base e pela zona termicamente afetada (ZTA). Devido à resolução das linhas, é possível afirmar que nenhum dos parâmetros foi suficiente para fazer o material de adição penetrar completamente na chapa durante o processo de soldagem.

Nesta imagem podemos analisar as linhas que compõem a zona do material de adição como sendo também mais alongadas e estreitas que as demais, devido às altas temperaturas naquela região durante o processo de solda e, provavelmente, a uma diferença de composição entre o arame utilizado e o material de base, caracterizando uma zona de maior tensão na peça. A região compreendida pelo material de base apresenta linhas com características mais arredondadas e leves, sem tensões. As ZTA mostram-se bem nítidas na imagem. É interessante notar que há duas ZTA diferentes, devido às diferentes penetrações e parâmetros dos cordões de solda. Na região onde a voltagem e a amperagem foram maiores, a ZTA apresenta uma largura de 3,5921 mm, praticamente o dobro do tamanho da ZTA onde os parâmetros de voltagem e amperagem foram menores, de 1,8653 mm.

5.2.1 Discussão sobre a análise macroscópica

Nas três imagens foi possível perceber a diferença entre as regiões compreendidas pelo material de adição, material de base e zona termicamente afetada. Todas as imagens mostram uma diferença muito nítida em termos de formato das regiões, onde os cordões de solda sempre aparecem com linhas mais alongadas enquanto as chapas possuem linhas mais suaves. Isso prova que a temperatura e o arame do cordão de solda, independente do parâmetro utilizado, geram uma região com maiores tensões do que as demais, uma vez que linhas mais alongadas fazem referência ao tensionamento da microestrutura.

Nenhum dos parâmetros utilizados foi suficiente para preencher 100% a região à ser soldada.

As ZTA sofrem alteração de tamanho e formato dependendo do tipo de junta utilizado. Na junta chanfrada, a ZTA se mostrou muito mais nítida e maior significativa que na Junta de Topo, possuindo uma maior área de atuação. Na solda Sobre-Chapa, a ZTA se mostrou

também extremamente visível e longa, bem como sofreu uma alteração devido à diferença entre parâmetros nas duas regiões.

Dentre as três amostras, a que mais se mostrou favorável em termos de diluição e penetração foi a Junta Chanfrada, seguida da Junta de Topo e por fim da solda Sobre-Chapa.

5.3 ANÁLISE MICROGRÁFICA

5.3.1 Objetivo

Neste tópico serão realizadas as análises das microestruturas obtidas das juntas soldadas, a fim de compreender as alterações microestruturais existentes nas amostras em relação ao processo utilizado. As imagens serão analisadas de acordo com a literatura apresentada e comparada com imagens pré-existentes, a fim de garantir a veracidade e confiabilidade das informações.

5.3.2 Análise da Junta Chanfrada

Aços “brutos de fusão” são aqueles em que o material sofreu a fusão, esfriou e solidificou-se normalmente, sem nenhum tipo de tratamento anterior ou posterior ao processo. Isso é exatamente o que acontece em relação ao cordão de solda realizado em uma peça.

Neste caso, as linhas que compõem o material tenderão a serem mais alongadas e pontiagudas. Numa solda o resfriamento é relativamente rápido, o que faz com que a estrutura encontrada possa ser considerada martensítica. Uma característica desse tipo de microestrutura é o formato alongado e pontiagudo e, em relação às propriedades, uma maior dureza e fragilidade. Porém, como não houve resfriamento rápido forçado, a estrutura será considerada apenas bruta de fusão, e não martensítica.

Em aços que sofreram algum tipo de tratamento, essas linhas tendem a desaparecer. À exemplo de chapas, que sofrem laminação, os contornos de grão tendem a ser mais arredondados e menos pontiagudos, devido ao fato do processo aliviar as tensões superficiais do material após o processo de fundição.

Na Figura 32 tem-se a micrografia da região soldada com 22 Volts e 90 Amperes. Em branco notam-se as regiões ferríticas do material, enquanto regiões mais escuras são classificadas com perlíticas. É notável a penetração da ferrita na perlita, característica de um processo de fusão sem tratamento. Esse tipo de estrutura demonstra maior concentração de

tensões nesta região, o que significa que o material tende a ser mais frágil e propenso à trincas, que por sua vez tendem a seguir as direções das linhas dos grãos.

FIGURA 32 – REGIÃO SOLDADA DA JUNTA CHANFRADA COM 22 V E 90 A, COMPOSTA POR FERRITA (LINHAS BRANCAS E CLARAS) E PERLITA (LINHAS PRETAS E ESCURAS). AMPLIAÇÃO 200X.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 33 têm-se a ampliação da região soldada com parâmetros de 24 Volts e 100 Amperes. As regiões esbranquiçadas são denominadas de ferrita e as escurecidas de perlita. A forma pontiaguda dos grãos permanece, pois se trata também de uma região que sofreu fusão e solidificação sem tratamentos específicos. Os grãos ferríticos continuam a penetrar nos grãos perlíticos caracterizando uma região tensionada e mais frágil.

Comparativamente à Figura 32 os grãos parecem ser menores, provavelmente devido à alteração de parâmetros da soldagem.

FIGURA 33 – REGIÃO SOLDADA DA JUNTA CHANFRADA COM 24 V E 100 A, COMPOSTA POR FERRITA (LINHAS BRANCAS E CLARAS) E PERLITA (LINHAS PRETAS E ESCURAS). AMPLIAÇÃO 200X.



Fonte: Elaborado pelo autor.

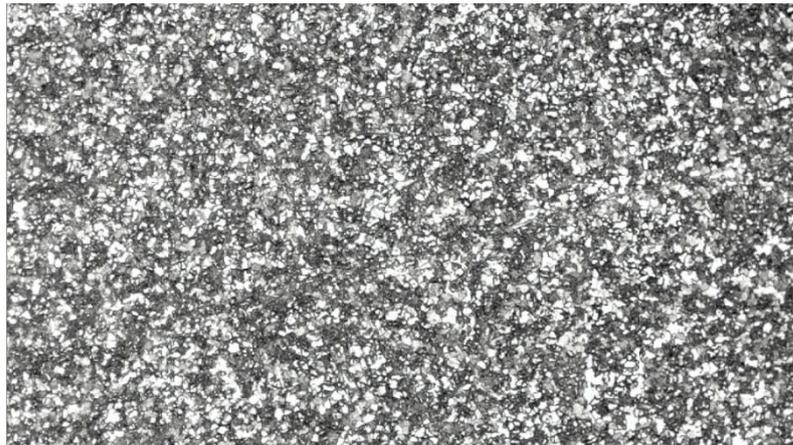
Na Figura 34 têm-se a micrografia da zona termicamente afetada. Nota-se que os grãos constituintes dessa região não apresentam formato alongado ou pontiagudo, pois não sofreram

fusão. Seu formato é arredondado e as linhas divisórias entre os grãos é bem nítida. Em branco têm-se as estruturas ferríticas do material, e em preto as perlíticas. A diferença entre as regiões ferríticas e perlíticas é bem evidente.

A configuração estrutural dessa região, através das linhas de contorno de grão, mostra uma concentração de tensões muito inferior à região soldada, pois os grãos tendem a ser mais arredondados. Isso é extremamente interessante do ponto de vista mecânico, uma vez que esse tipo de configuração de contorno de grão dificulta a transposição de linhas de trincas no material, ou seja, as trincas (se existirem) tendem a não se alongar, pois serão “bloqueadas” pelo contorno do grão seguinte uma vez que este formará uma barreira que impedirá a sua propagação.

É claro que a ZTA por definição também sofre alteração devido à temperatura, mas é nítido que essa alteração é bem menos aparente em relação à região soldada.

FIGURA 34 – REGIÃO DA ZTA, COMPOSTA POR FERRITA (LINHAS BRANCAS E CLARAS) E PERLITA (LINHAS PRETAS E ESCURAS). AMPLIAÇÃO 200X.

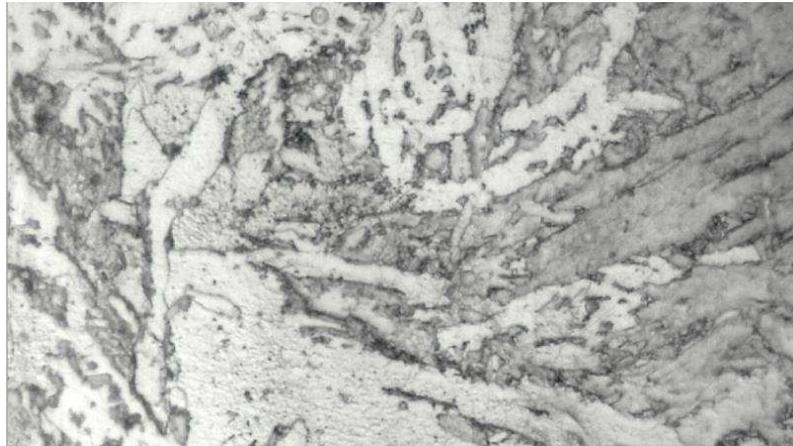


Fonte: Elaborado pelo autor.

A seguir apresentam-se imagens com maiores ampliações das regiões soldadas e da ZTA do material. Desse modo busca-se facilitar a visualizações dos contornos de grão e compreender melhor sua microestrutura.

Na Figura 35 têm-se os contornos de grão da região soldada com 22 V e 90 A. é possível notar que as linhas alongadas características da estrutura brita de fusão não mantem um padrão específico de direção, ou seja, são aleatórias. Em parte, essa aleatoriedade das linhas pode ser interessante, pois também ajuda como uma barreira para a propagação de trincas no material. Por outro lado, o material tem sua resistência mecânica um tanto quanto prejudicada, pois estruturas que contem linhas alongadas em seus grãos tendem a ter uma resistência mais elevada quando sofrem esforços mecânicos contrários à direção das estrias.

FIGURA 35 – REGIÃO SOLDADA DA JUNTA CHANFRADA COM 22 V E 90 A, COMPOSTA POR FERRITA (LINHAS BRANCAS E CLARAS) E PERLITA (LINHAS PRETAS E ESCURAS). AMPLIAÇÃO 1000X.

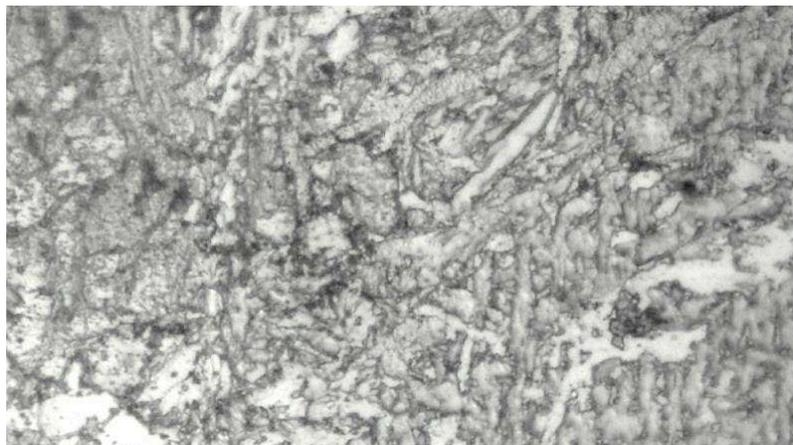


Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 36 as linhas que compõem o material fazem referência à região soldada com 24 V e 100 A. Regiões brancas e claras, ferríticas, pretas e escuras, perlíticas. Assim como na anterior, as linhas alongadas e tensionadas permanecem, denotando um material bruto de fusão sem tratamentos.

Os contornos de grão dessa região soldada são menores que os da anterior, provavelmente devido à alteração de parâmetros de soldagem.

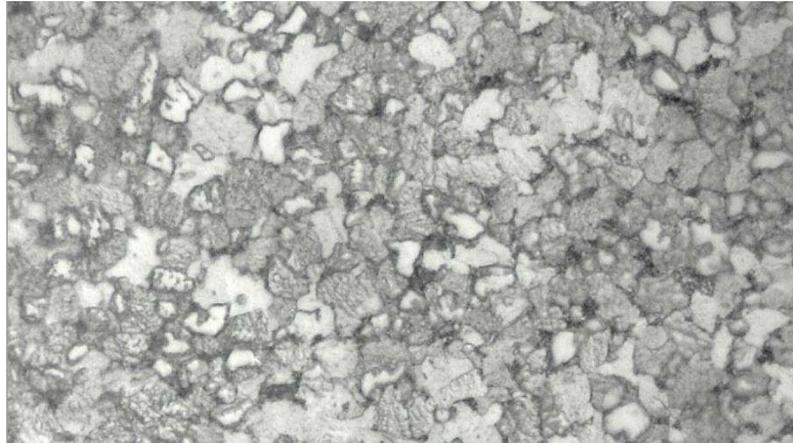
FIGURA 36 – REGIÃO SOLDADA DA JUNTA CHANFRADA COM 24 V E 100 A, COMPOSTA POR FERRITA (LINHAS BRANCAS E CLARAS) E PERLITA (LINHAS PRETAS E ESCURAS). AMPLIAÇÃO 1000X.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 37 têm-se os contornos de grãos da zona termicamente afetada. Em branco regiões ferríticas e em preto e tons escuros regiões perlíticas. Como dito anteriormente, essa região, apesar de ter sofrido ação das altas temperaturas da solda, não se fundiu, portanto sua microestrutura não tem contornos alongados, e sim mais arredondados, característica proveniente do processo de laminação utilizado na peça base.

FIGURA 37 – REGIÃO DA ZTA, COMPOSTA POR FERRITA (LINHAS BRANCAS E CLARAS) E PERLITA (LINHAS PRETAS E ESCURAS). AMPLIAÇÃO 1000X.



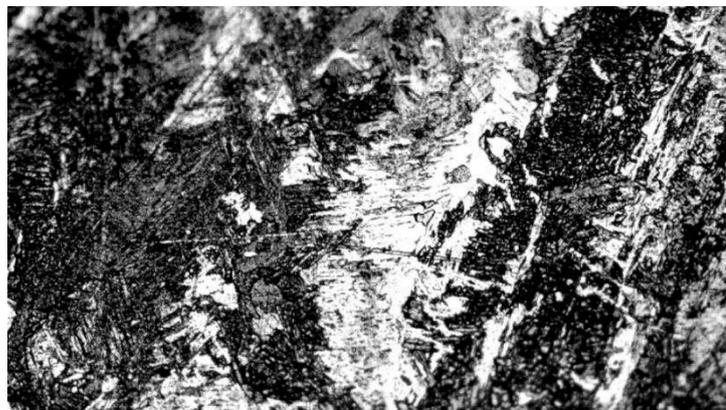
Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3.3 Análise da Junta de Topo

Na Figura 38 é mostrada a região soldada utilizando-se como parâmetros 22 Volt e 90 A. em branco têm-se contornos ferríticos e em preto, contornos perlíticos. A microestrutura possui contornos alongados com grãos de ferrita penetrando grãos de perlita, caracterizando uma zona que sofreu fusão e não teve nenhum tipo de tratamento.

As linhas da microestrutura apresentam-se de maneira aleatória, não havendo direções específicas para a formação dos contornos de grão, caracterizando uma zona tensionada e possivelmente frágil devido ao seu formato.

FIGURA 38 – REGIÃO SOLDADA DA JUNTA DE TOPO COM 22 V E 90 A, COMPOSTA POR FERRITA (LINHAS BRANCAS E CLARAS) E PERLITA (LINHAS PRETAS E ESCURAS). AMPLIAÇÃO 200X.

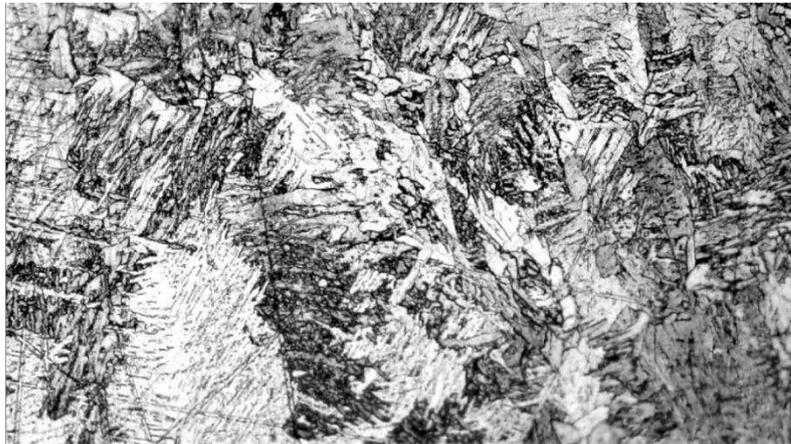


Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 39 representa a região soldada com 24 V e 100 A. Também possui linhas pontiagudas com a ferrita representada por coloração esbranquiçada e a perlita representada por uma coloração mais escura.

Assim como a figura anterior, esta também possui as linhas de contorno de grão em direções aleatórias, onde as linhas de ferrita tendem a penetrar as regiões formadas pela perlita.

FIGURA 39 – REGIÃO SOLDADA DA JUNTA DE TOPO COM 24 V E 100 A, COMPOSTA POR FERRITA (LINHAS BRANCAS E CLARAS) E PERLITA (LINHAS PRETAS E ESCURAS). AMPLIAÇÃO 200X.

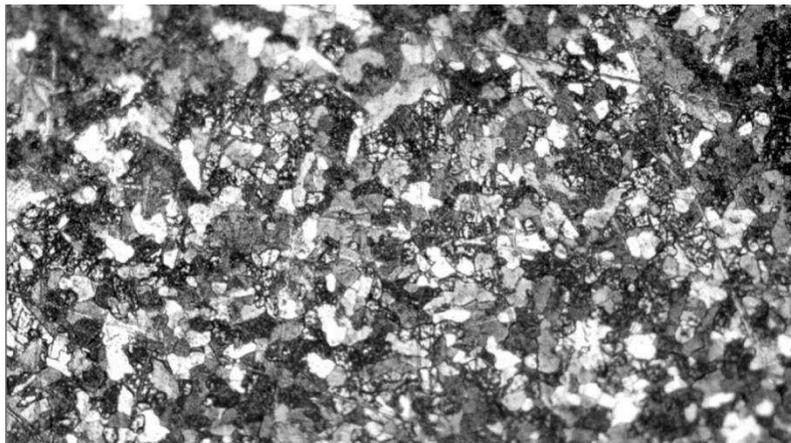


Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 40 os contornos de grão representados são da região da ZTA. Assim como nas demais, as regiões brancas e claras representam a ferrita e as pretas e escuras a perlita.

A estrutura da ZTA não apresenta alongamentos, pois não sofreu fusão, apesar de ter sido afetada termicamente.

FIGURA 40 – REGIÃO DA ZTA DA JUNTA DE TOPO, COMPOSTA POR FERRITA (LINHAS BRANCAS E CLARAS) E PERLITA (LINHAS PRETAS E ESCURAS). AMPLIAÇÃO 200X.

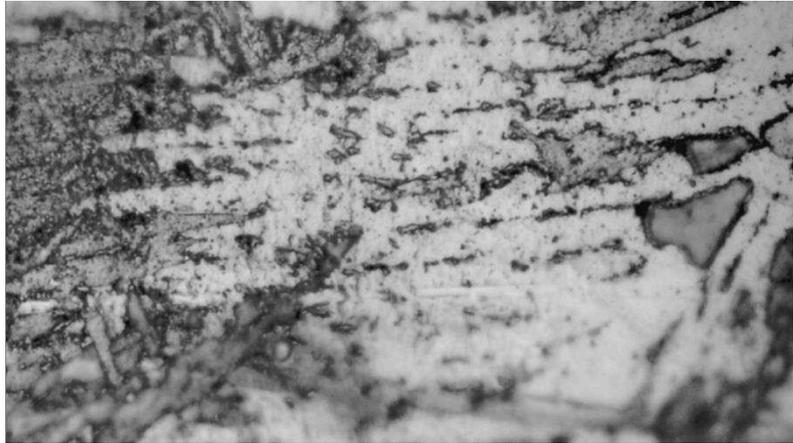


Fonte: Elaborado pelo autor.

A seguir apresentam-se imagens com maiores ampliações das regiões soldadas e da ZTA do material. Desse modo busca-se facilitar a visualizações dos contornos de grão e compreender melhor sua microestrutura.

A Figura 41 mostra uma maior ampliação da região soldada com 22 V e 90 A, com linhas de ferrita e perlita bem definidas.

FIGURA 41 – REGIÃO SOLDADA DA JUNTA DE TOPO COM 22 V E 90 A, COMPOSTA POR FERRITA (LINHAS BRANCAS E CLARAS) E PERLITA (LINHAS PRETAS E ESCURAS). AMPLIAÇÃO 1000X.

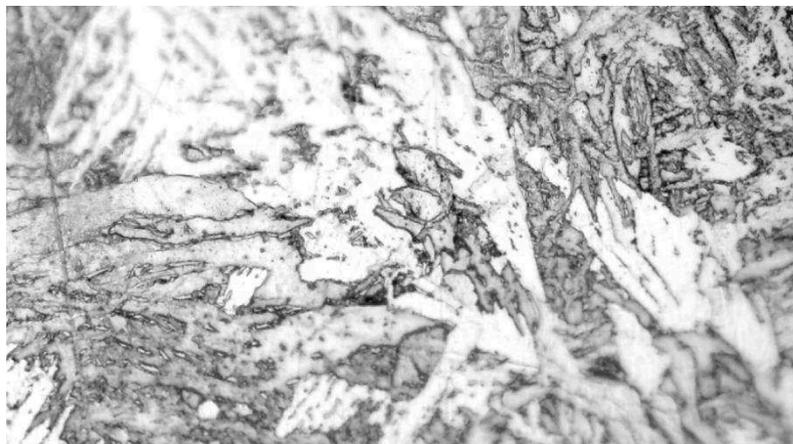


Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 42 mostra a microestrutura da região soldada com 24 V e 100 A.

Ambas possuem seus contornos alongados e as regiões de ferrita penetrando na perlita.

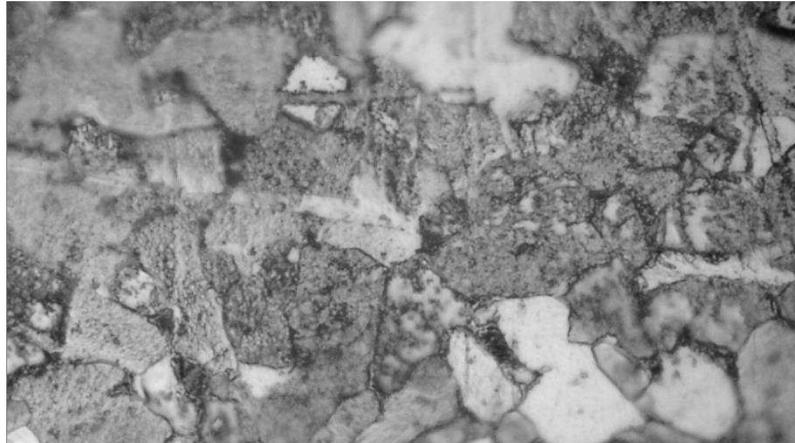
FIGURA 42 – REGIÃO SOLDADA DA JUNTA DE TOPO COM 24 V E 100 A, COMPOSTA POR FERRITA (LINHAS BRANCAS E CLARAS) E PERLITA (LINHAS PRETAS E ESCURAS). AMPLIAÇÃO 1000X.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 43 mostra os contornos de grão da região formada pela ZTA, com linhas mais geometricamente estáveis e contornos bem definidos entre ferrita e perlita.

FIGURA 43 – REGIÃO DA ZTA DA JUNTA DE TOPO, COMPOSTA POR FERRITA (LINHAS BRANCAS E CLARAS) E PERLITA (LINHAS PRETAS E ESCURAS). AMPLIAÇÃO 1000X.

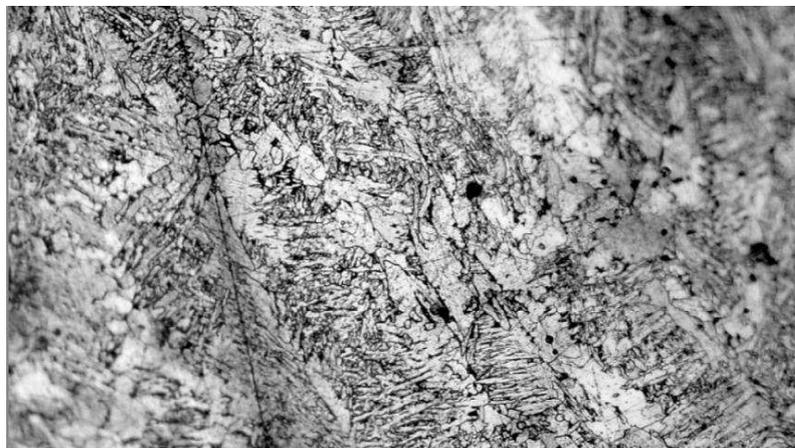


Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3.4 Análise da solda Sobre-Chapa

A Figura 44 mostra a região compreendida pela solda utilizando-se parâmetros de 22 V e 90 A para o cordão. As regiões mais claras são formações ferríticas e as mais escuras, perlíticas.

FIGURA 44 – REGIÃO SOLDADA SOBRE-CHAPA COM 22 V E 90 A, COMPOSTA POR FERRITA (LINHAS BRANCAS E CLARAS) E PERLITA (LINHAS PRETAS E ESCURAS). AMPLIAÇÃO 200X.

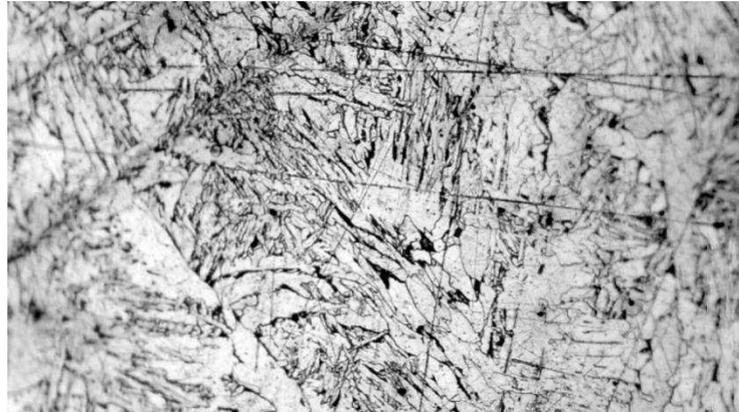


Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 44 é possível notar os contornos de grãos alongados e pontiagudos característicos de uma região que sofreu fusão sem tratamentos.

A figura 45 mostra a região soldada com 24 V e 100 A, também com contornos alongados provenientes de área fundida sem tratamentos.

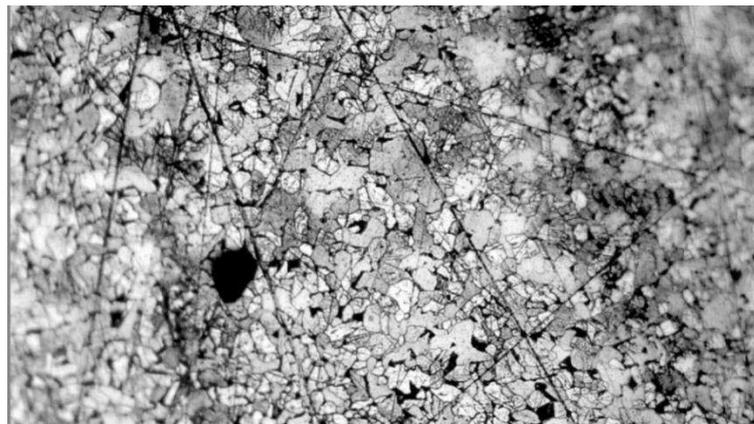
FIGURA 45 – REGIÃO SOLDADA SOBRE-CHAPA COM 24 V E 100 A, COMPOSTA POR FERRITA (LINHAS BRANCAS E CLARAS) E PERLITA (LINHAS PRETAS E ESCURAS). AMPLIAÇÃO 200X.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 46 mostra a zona compreendida pela ZTA, com contornos mais bem delineados.

FIGURA 46 – REGIÃO DA ZTA DA JUNTA DE TOPO, COMPOSTA POR FERRITA (LINHAS BRANCAS E CLARAS) E PERLITA (LINHAS PRETAS E ESCURAS). AMPLIAÇÃO 200X.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3.5 Discussão sobre as análises micrográficas

É possível notar em todas as micrografias das diferentes juntas que há uma alteração perceptível do contorno de grão da região soldada em relação ao contorno de grão de uma região não soldada.

Em todos os casos onde houve a fusão do material, a microestrutura tende a ser mais alongada e pontiaguda, característica de uma estrutura bruta de fusão sem tratamentos. Esse tipo de formato no contorno de grão prejudica as propriedades mecânicas da região, uma vez que caracteriza tensões na área. Estruturas que apresentam um maior nível de tensionamento possuem uma maior fragilidade estrutural e são mais propensas a trincas e rasgos.

As regiões das zonas termicamente afetadas apresentam em todas as situações, contornos de grão mais geometricamente distintos, pois não houve fusão de material naquelas regiões. Isso é bom, pois contornos menos pontiagudos tendem a servir melhor como barreiras para a propagação de trincas e rachaduras, servindo melhor ao propósito de resistência mecânica do material.

As regiões compreendidas pela ferrita e pela perlita aparecem bem nítidas em todas as imagens.

5.4 ANÁLISE DA DUREZA ROCKWELL

5.4.1 Objetivo

A ideia de se analisar a dureza está estritamente relacionada com o entendimento sobre a resistência de um determinado material. Em determinadas situações o material necessita ser mais ou menos duro, mais ou menos resistente.

A dureza e a fragilidade são características que se unem quando o assunto é propriedade mecânica de um material, pois normalmente quanto mais duro um material é, também será mais frágil, salvo em situações onde há posterior tratamento da amostra.

Essa provavelmente é a parte mais interessante do trabalho, pois compreende a comprovação das análises feitas durante a micrografia das amostras principalmente no que diz respeito às regiões tensionadas da solda.

5.4.2 Análise das durezas nas amostras

Foram realizados testes em todas as regiões das amostras: nos dois materiais de base, nos dois cordões de solda e nas duas ZTA próximas a cada um dos cordões.

Optou-se por organizar os dados obtidos em uma tabela, pois as análises do teste de dureza das três amostras são muito semelhantes e simples, não necessitando de sessões individuais para cada uma delas. A tabela também facilita a leitura e o entendimento dos resultados obtidos.

Os resultados são apresentados na Tabela 1 a seguir.

TABELA 1 – VALORES OBTIDOS NOS TESTES DE DUREZA ROCKWELL

DUREZA ROCKWELL COMUM - HRA			
	Junta Chanfrada	Junta de Topo	Sobre-Chapa
Base 1	41	39,5	37,5
Base 2	50,5	37,5	38
Cordão 22V/90A	52,5	50,5	47,5
Cordão 24V/90A	51	50	47
ZTA 22V/90A	46,5	45	41
ZTA 24V/90A	52,5	45,5	40

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em primeiro momento percebe-se que as regiões das amostras apresentam valores muito semelhantes entre si.

As regiões compreendidas pelos materiais de base possuem durezas que variam de 37,5 a 41, condizente com o aço SAE 1020 utilizado.

Percebe-se que a dureza nas regiões dos cordões de solda é muito mais elevada se comparadas com o material base. Isso comprova a análise feita a partir da micrografia, onde as regiões soldadas apresentavam maiores tensões, conseqüentemente maior dureza e fragilidade.

As regiões das zonas termicamente afetadas tem um acréscimo de dureza considerável em relação ao material base, mas ainda assim não são tão duras quanto às regiões dos cordões. Isso comprova que as ZTA, apesar de não sofrerem fusão, são regiões afetadas pelas altas temperaturas da soldam tornando-se mais duras que o restante do material.

Em relação exclusivamente à junta chanfrada, houve uma diferença grande de valor entre o material base de um dos lados. A dureza encontrada foi de 50,5 HRA, que não condiz com aço SAE 1020. Provavelmente durante a separação do material para solda, ocorreu um erro e uma chapa com maior quantidade de carbono (provavelmente um SAE 1045 ou SAE 1060) foi pega por engano para a realização do cordão.

5.4.3 Discussão sobre o ensaio de dureza

Percebe-se através dos dados coletados que as regiões compreendidas pelo material de base tendem a ser mais meláveis e menos frágeis. Já as regiões onde ocorreu a fusão do material, a dureza se acentua devido àquela parte ser uma superfície bruta de fusão. As regiões da ZTA apresentam uma dureza consideravelmente maior que a do material base, mas menos que a do cordão de solda, provando que sofrem alterações durante o processo.

Essa análise se torna extremamente valiosa, pois as regiões onde são realizadas as soldas em peças costumam serem as campeãs de falhas e trincas numa peça. A dureza prova que essa fragilidade do material, além de estar relacionada com sua microestrutura, está também relacionada ao fato de ser uma região bastante dura se comparada ao restante da peça. Como já foi dito, a dureza do cordão de solda na peça ocorre em função da fusão do material base com o material de adição, fazendo com que aquela área se torne mais tensa e frágil.

6 CONCLUSÃO

Dos três tipos de juntas soldadas apresentadas, a que melhor apresentou diluição e penetração foi a junta chanfrada, o que mostra que esse tipo de junta é mais confiável quando há um material de base com uma espessura mais elevada.

Mesmo assim, os parâmetros utilizados para o processo de soldagem não foram suficientes, em nenhuma das situações, para preencher totalmente a região da junta, necessitando uma melhor avaliação em relação à voltagem, amperagem e velocidade de solda utilizada.

Há uma diferença considerável entre a microestrutura de um cordão de solda e de um material de base, mesmo quando este for afetado pela temperatura de solda sem atingido o seu ponto de fusão.

Estruturas soldadas apresentam microestrutura tensionada e alongada na região do cordão de solda, fazendo com que essa região seja a mais propensa a falhas mecânicas, pois regiões com maior índice de tensão apresentam menos resistência mecânica e maior fragilidade. Isso se deve ao fato de que as regiões do cordão de solda são consideradas como regiões brutas de fusão. Uma provável solução para esta questão seria a aplicação de tratamentos térmicos na região soldada após a realização do cordão.

Há uma diferença considerável entre a microestrutura de um cordão de solda e de um material de base, mesmo quando este for afetado pela temperatura de solda sem atingido o seu ponto de fusão.

Em relação à dureza, é notável a diferença de propriedade entre as três principais regiões da solda: material base, zona termicamente afetada e cordão de solda.

No caso do material de base, a dureza encontrada é compatível com um aço mole, como no caso do SAE 1020. Na zona onde ocorreu a fusão entre o eletrodo e o material de base, a dureza tende a aumentar devido às tensões durante o processo de derretimento e resfriamento da região. Isso comprova que regiões soldadas, se não sofrerem tratamentos anteriores ou posteriores à solda, tenderão a serem mais frágeis em relação às demais regiões do material, possibilitando um aumento de trincas e falhas.

As zonas termicamente afetadas também mostram um acréscimo do valor de dureza em função das altas temperaturas empregadas durante o processo que, apesar de não fundirem-se.

REFERÊNCIAS

- CHAVARRIA, J.C.J.B. **Formas alotrópicas del hierro y sus combinaciones con el carbono.** Disponível em: <<http://www.monografias.com/trabajos70/formas-alotropicas-hierro-combinaciones-carbono/formas-alotropicas-hierro-combinaciones-carbono2.shtml>>. Acesso em: 13 de maio de 2017.
- COLPAERT, H. **Metalografía dos produtos siderúrgicos comuns.** 3. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1974.
- DE SOUZA, S. A. **Ensaio mecânico de materiais metálicos: fundamentos teóricos e práticos.** 5. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1984.
- DUTRA, K. H; FREITAS, V. D. **Apostila de tecnologia dos materiais.** 1. ed. Ceará, 2010.
- FONTENELLE, A. **Metodologia Científica: Como definir os tipos de pesquisa do seu TCC?.** Disponível em: http://www.andrefontenelle.com.br/tipos-de-pesquisa/#A_importancia_do_metodo>. Acesso em 01 de outubro de 2017.
- SENAI. **Apostila de metalurgia.** 1. ed. São Paulo, 2007.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ (UFPR). **Processos de corte.** Disponível em: <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasivan/processoscorte_arquivos/FerroAcoConceitos.pdf>. Acesso em 11 de maio de 2017.
- VEIGA, E. **Processo de soldagem MIG/MAG.** 1. ed. São Paulo: Globus 2011.