

**CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE ITAQUERA
PROFESSOR MIGUEL REALE**

**THIAGO MONTEIRO
JOSÉ ROBERTO OLIVEIRA**

**ANÁLISE DE MODOS DE FALHA E EFEITO (FMEA) NO
PROCESSO DE SOLDAGEM GMAW**

**SÃO PAULO
2021**

CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE ITAQUERA
PROFESSOR MIGUEL REALE

THIAGO MONTEIRO
JOSÉ ROBERTO OLIVEIRA

ANÁLISE DE MODOS DE FALHA E EFEITO (FMEA) NO PROCESSO DE
SOLDAGEM GMAW

Trabalho acadêmico realizado como requisito
parcial para a conclusão do curso de tecnologia
em Mecânica: Processos de Soldagem.
Orientador: Prof. Me. Edgar de Souza Dutra

SÃO PAULO
2021

RESUMO

Este trabalho apresenta a aplicação da ferramenta FMEA no processo de soldagem GMAW. A proposta será analisar os modos de falha e seus efeitos no processo, e evidenciar a importância do uso desta ferramenta para prever e prevenir falhas no processo antes mesmo que elas ocorram.

O objetivo de desenvolver um produto ou processo é basicamente satisfazer a necessidade do cliente oferecendo um produto ou serviço de qualidade. A produção de estruturas soldadas deve obedecer previamente aos requisitos técnicos e de qualidade previamente especificados, dependendo grandemente de um bom sistema de gestão da qualidade.

O sistema de gestão da qualidade tem como diretrizes a visão sistêmica e integração dos processos, muitas organizações tem utilizado em seu sistema a Análise do modo e efeito da falha (FMEA), a aplicação desta ferramenta é comum na cadeia de fornecedores da indústria automotiva, onde a especificação técnica IATF 16949:2016 antiga ISO TS16949:2002 determina o uso da ferramenta durante o projeto e desenvolvimento de um produto, contudo, infelizmente uma boa parte destas organizações não conseguem utilizar todos os benefícios que o uso do FMEA traz, mesmo com o uso de manuais de referência publicados e com diversos treinamentos feitos ao longo dos anos, muito das pessoas dentro do segmento automotivo conhece e faz o uso da ferramenta apenas para cumprir os requisitos da norma.

O fato é que o FMEA pode e deve ser aplicado como elemento chave no processo de qualidade nos processos de fabricação das empresas e se utilizada e aplicada corretamente se torna uma poderosa ferramenta podendo desfrutar de seus benefícios financeiros resultante das melhorias nos produtos e processos.

Palavras-chave: FMEA; Descontinuidades na soldagem; Processo GMAW; Ferramentas da Qualidade; Qualidade.

ABSTRACT

This work presents the application of the FMEA tool in the GMAW welding process. The proposal will be to analyze the failure modes and their effects on the process, and highlight the importance of using this tool to predict and prevent failures in the process even before they occur.

The objective of developing a product or process is basically to satisfy the customer's desire by offering a quality product or service. The production of welded structures must comply with previously specified technical and quality requirements, depending largely on a good quality management system.

The quality management system has as guidelines the systemic view and integration of processes, many organizations have used in their system the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), the application of this tool is common in the automotive supply chain, where the technical specification IATF 16949:2016 formerly ISO TS16949:2002 determines the use of the tool during the design and development of a product, however, unfortunately a good part of these organizations are not able to use all the benefits that the use of FMEA brings, even with the use of published reference manuals and with several training courses carried out throughout the year, many people in the automotive segment know and use the tool only to meet the requirements of the standard.

The fact is that FMEA can and should be applied as a key element in the quality process in the manufacturing processes of companies and if used and applied correctly, it becomes a powerful tool that can enjoy its financial benefits resulting from improvements in products and processes.

Keywords: FMEA; Welding discontinuities; GMAW Process; Quality tools; Quality.

Lista de Ilustrações

Figura 1 – Evolução dos processos de soldagem	18
Figura 2 - Classificação dos Processos de soldagem	19
Figura 3 - Representação esquemática da soldagem por fusão	20
Figura 4 - Modos de operação de soldagem.....	22
Figura 5 - Princípio básico Processo de soldagem GMAW	23
Figura 6 - Tipos de transferência no processo GMAW.....	24
Figura 7 - Equipamento para soldagem GMAW.....	24
Figura 8 - Tocha de soldagem	25
Figura 9 - Identificação consumíveis de soldagem conforme AWS A5.18.....	29
Figura 10 - Identificação para gases de soldagem sem mistura	32
Figura 11 - Identificação para gases de soldagem com mistura	33
Figura 12 - Comprimento do arco	34
Figura 13 - Corrente de soldagem típicas x alimentação de eletrodos de aço	35
Figura 14 – Ângulos de posicionamento da tocha	36
Figura 15 – Distância entre o bico de contato e a peça	37
Figura 16 - Evolução da Qualidade.....	44
Figura 17 – Exemplo de Gráfico de Pareto	49
Figura 18 – Exemplo de Histograma.....	50
Figura 19 - Diagrama de Ishikawa	51
Figura 20 - Diagrama de dispersão.....	52
Figura 21 - Gráfico de controle	53
Figura 22 - Fluxograma.....	54
Figura 23 - Ciclo PDCA.....	56
Figura 24 - Tipos de distribuição de porosidade	58
Figura 25 – Exemplos de mordeduras	59
Figura 26 - Trinca no centro do cordão	60
Figura 27 - Tipos de tricas a frio	61
Figura 28 - Trincas a quente	62
Figura 29 - Trincas devidas ao alívio de tensões	62
Figura 30 - Falta de fusão em uma junta de topo.....	63
Figura 31 - Exemplos de falta de penetração.....	64

Figura 32 - Inclusão de escória.....	65
Figura 33 - Distorções básicas.....	69
Figura 34 - Distorção por flambagem em juntas de pequena espessura.....	70
Figura 35 - Efeito do número de passes na distorção de juntas em T com múltiplos passes.	73
Figura 36 - Tipos de deformação causada por distorção angular em dois tipos de estruturas soldadas em T.	74
Figura 37 - Solda intermitente e solda intermitente em escalão	77
Figura 38 - Peças fabricadas pela empresa estudada	91
Figura 39 - Tempestade de ideias	94
Figura 40 - Altura do cordão de solda	96
Figura 41 - Comprimento do cordão	97
Figura 42 - Quantidade de cordão de solda	98
Figura 43 - Inclusão de escória.....	99
Figura 44 - Penetração insuficiente	100
Figura 45 - Distorções.....	101
Figura 46 - Respingos de solda	102
Figura 47 - Transbordo de solda.....	103
Figura 48 - Porosidade	104
Figura 49 - Trincas.....	105
Figura 50 - Componente desloca ou invertido.....	106
Figura 51 - Reforço excessivo	107
Figura 52 - Mordedura	108
Figura 53 - Cratera	109
Figura 54 - Falta de fusão.....	110
Figura 55 - Falta de componente	111
Figura 56 - Pareto Modos de Falhas.....	113
Figura 57 - FMEA	115
Figura 58 – FMEA (CONTINUAÇÃO)	116
Figura 59 – FMEA (CONTINUAÇÃO)	117
Figura 60 – FMEA (CONTINUAÇÃO)	118
Figura 61 – FMEA (CONTINUAÇÃO)	119
Figura 62 – FMEA (CONTINUAÇÃO)	120
Figura 63 – FMEA (CONTINUAÇÃO)	121
Figura 64 – FMEA (CONTINUAÇÃO)	122

Lista de tabelas

Tabela 1 - Processos de soldagem por fusão	21
Tabela 2 – Coeficiente de dilatação térmica.....	67
Tabela 3 - Procedimentos para reduzir ou aliviar as tensões residuais	72
Tabela 4 - Efeitos das condições de soldagem na contração da junta	74
Tabela 5 – Exemplos de Etapa do processo/Função do Processo/Requisito do processo.....	84
Tabela 6 - Exemplo de modo de falha potencial.....	85
Tabela 7 - Exemplo efeito potencial da falha.....	86
Tabela 8 - Exemplo causa e mecanismo potencial da falha	87
Tabela 9 – Índice de severidade	88
Tabela 10 - Índice de ocorrência	89
Tabela 11 - Pontuação de detecção.....	89
Tabela 12 - Etapas Metodológicas	90
Tabela 13 – Folha de verificação	112
Tabela 14 - 5W1H.....	114

Lista de abreviaturas e siglas

FMEA – Análise de modos de falha e efeito Potencial

NASA - Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço dos Estados Unidos da América

EUA – Estados Unidos da América

GMAW – Soldagem a arco de metal com gás

GMAW – Soldagem a arco de metal com gás

AWS – Sociedade Americana de Soldagem

MIG - Gás inerte no metal

MAG - Gás ativo no metal

FBTS - Fundação Brasileira de Tecnologia de Soldagem

TIG – Gás inerte Tungstênio

ZTA – Zona termicamente afetada

JUSE – União de Cientistas e Engenheiros Japoneses

TQC – Controle total da qualidade

ISO – Organização Internacional para padronização

ISA – Federação Internacional das Associações Nacionais de Normalização

AQAP – Garantia da Qualidade aliada

OTAN - Organização do Tratado do Atlântico Norte

BS – Normalização Britânica

TC – Comitê Técnico

SGQ – Sistema de Gestão da Qualidade

ASME – Sociedade dos Engenheiros Mecânicos dos Estados Unidos

EPS - Especificação do Procedimento de Soldagem

RQP - Registro da Qualificação do Procedimento

EPB - Especificação do Procedimento de Brasagem

APQP - Programas Avançados de Planejamento da Qualidade

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Justificativa	14
2 OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo geral	15
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	16
3.1 Histórico da Soldagem.....	16
3.1.1 Processos de Soldagem	18
3.1.2 União	19
3.2 Processo de soldagem GMAW	22
3.2.1 Equipamentos de soldagem GMAW	24
3.2.2 Unidades de alimentação do arame.....	25
3.2.3 Consumíveis	26
3.2.3.1 Classificação dos consumíveis de soldagem conforme AWS	26
3.2.3.2 Identificação dos consumíveis conforme AWS A5.18	28
3.2.3.3 Teste de fabricação	29
3.2.3.4 Principais classificações de eletrodo/vareta da especificação AWS A5.18	30
3.2.3.5 Gases de proteção.....	30
3.2.3.5.1 Classificação dos gases para soldagem	30
3.2.4 Parâmetros e variáveis do processo	33
3.3 Qualidade	37
3.3.1 Pioneiros da qualidade	38
3.3.2 Qualidade antes da série ISO 9000	39
3.3.3 Evolução da norma Série ISO 9000.....	42
3.3.4 ASME IX.....	44
3.3.4.1 Qualificação dos procedimentos	45

3.3.4.2 Qualificação do Desempenho	45
3.3.5 Ferramentas da Qualidade	47
3.3.5.1 Diagrama de Pareto	48
3.3.5.2 Histograma	49
3.3.5.3 Diagrama de Ishikawa	50
3.3.5.4 Diagrama de dispersão	51
3.3.5.5 Gráficos de controle	52
3.3.5.6 Fluxograma	53
3.3.5.7 Brainstorming	54
3.3.5.8 5W1H	55
3.3.5.9 Ciclo PDCA	55
3.4 Descontinuidade	57
3.4.1 Porosidade	58
3.4.2 Mordeduras	59
3.4.3 Trincas	60
3.4.4 Falta de fusão	63
3.4.5 Falta de penetração	63
3.4.6 Deposição insuficiente	65
3.4.7 Inclusão de escoria	65
3.4.8 Deformações	66
3.4.8.1 Distorções devidas à soldagem	68
3.4.8.2 Principais tipos de distorções devidas à soldagem	68
3.4.8.2.1 Contração transversal	70
3.4.8.2.2 Contração longitudinal	70
3.4.8.2 Distorção angular	71
3.4.8.3 Distorção angular de juntas em T	72
3.4.8.4 Controle das Distorções	75
3.4.8.4.1 Controle de distorções no projeto de estruturas soldadas	75
3.4.8.4.2 Controle de distorções na fabricação	76

3.4.8.4 Controle de distorções após a soldagem (correção da distorção)	76
3.5 A ferramenta FMEA	77
3.5.1 Histórico da ferramenta FMEA	78
3.5.2 Tipos de FMEA existentes	80
3.5.3 Metodologia do FMEA	81
3.5.4 Procedimento para elaboração de um FMEA	82
3.5.5 Formulário de um FMEA	83
3.5.6 Definições dos elementos que compõe um FMEA	83
3.5.6.1 Etapa do processo/Função do processo/Requisito do processo	84
3.5.6.2 Modo de Falha Potencial	85
3.5.6.3 Efeito potencial da falha	85
3.5.6.4 Classificação	86
3.5.6.5 Causa e mecanismo potencial da falha	87
3.5.6.6 Índice de severidade	87
3.6.7.8 Índice de Ocorrência	88
4 MATERIAIS E MÉTODOS	90
4.1 A Empresa	91
4.2 Ferramentas para o controle de qualidade e análise de falhas	92
4.3 Processo de Soldagem	93
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	93
5.1 Etapa 1 Coleta dos possíveis modos de falha	93
5.2 Etapa 2 Coleta das possíveis causas	94
5.3 Etapa 3 Coleta das possíveis causas	112
5.4 Etapa 4 Identificação dos modos de falhas que devem ser tratados	112
5.5 Etapa 5 Definição das ações para os modos de falha apontados no Pareto	114
5.6 Etapa 6 Construção do FMEA através dos dados obtidos	114
6 CONCLUSÃO	123

“A verdadeira motivação vem de realização, desenvolvimento pessoal,
satisfação no trabalho e reconhecimento.”

Frederick Hezberg

1 INTRODUÇÃO

Os processos de soldagem são empregados em uma grande gama de estruturas metálicas inclusive na indústria de máquinas e implementos agrícolas.

O surgimento das máquinas e implementos para a agricultura no século XIX gerou um aumento na produtividade agrícola, mudando definitivamente as técnicas de produção e elevando a oferta de produtos agrícolas no mundo. Desde esta época, a evolução técnica do setor foi constante e gerou crescente oferta de equipamentos com tecnologias cada vez mais avançadas, contribuindo para o aumento da produtividade no campo. E assim, a indústria se concentrou e passou a investir altas quantias em inovação tecnológica (FONSECA, 1990). Até o século XVIII, a agricultura utilizava instrumentos rudimentares, fabricados artesanalmente com ferro e/ou madeira. A revolução industrial, a crescente população urbana e a maior demanda por alimentos geraram a necessidade de aumento da produtividade agrícola (DERRY e WILLIAMS, 1977 apud FONSECA, 1990). Portanto, fez-se necessário o desenvolvimento tecnológico para aumentar a produtividade e atender à demanda crescente. O segmento de máquinas automotrizes abrange o grupo de produtores de tratores, colheitadeiras automotrizes e cultivadores motorizados, que é constituído por empresas de grande porte e possui forte participação de capital estrangeiro. As empresas fabricantes de peças e componentes para máquinas agrícolas produzem uma diversidade de produtos, com níveis tecnológicos e escalas de produção diversas, o que impõe estratégias diferenciadas. Geralmente os processos de fabricação de equipamentos agrícolas abrangem processos de fundição e forjamento (que em muitas empresas não ocorre mais internamente), usinagem (torneamento, furação e etc), corte e dobra, tratamento térmico, soldagem, montagem, pintura, inspeção e testes, no qual na maioria dos casos esse controle é feito ao longo da linha de produção, que geralmente estão presentes na produção de maquinários mais sofisticados (tratores e colheitadeiras) e dos implementos, variando apenas o nível de complexidade das operações.

FMEA é uma ferramenta na qual se procura prevenir e impedir que se ocorram erros no projeto de um produto ou no processo de fabricação, através de análises das falhas, dando prioridade em razão ao nível de ocorrência. (CERQUEIRA, 2011). A ferramenta FMEA auxilia na busca da causa raiz do problema e ajuda na elaboração

de um plano de ação para impedir que a falha ocorra novamente. (ARAÚJO, 2011). A proatividade da ferramenta FMEA nos proporciona através de suas ações grandes oportunidades de melhorias com a antecipação e prevenção das possíveis falhas no processo (ARAÚJO,2011). O objetivo da análise dos modos de falhas e seus efeitos é estimar as falhas potenciais de um produto ou processo avaliando sua importância relativa separando os tipos de falhas e seus efeitos sobre o consumidor (CERQUEIRA, 2011). A primeira utilização formal desta ferramenta foi na década de 60, pela indústria aeroespacial dos EUA, durante o projeto Apollo da agência norte-americana NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) onde se desenvolveu um sistema para identificar falhas potenciais em processos através da definição de suas causas e efeitos, no qual foi possível definir ações para reduzir e eliminar riscos associados a estas falhas. (FERNANDES, 2005).

Este Trabalho tem como objetivo identificar os modos de falhas e seus efeitos no processo de soldagem GMAW através da ferramenta FMEA (Análise de modo e efeito de falha potencial), apresentando a sua importância e os ganhos que esta ferramenta promove, antecipando e tratando as falhas que podem ocorrer durante o processo.

1.1 Justificativa

Em consequência dos avanços tecnológicos da soldagem, engenheiros, técnicos e profissionais da área tem se conscientizado cada vez mais da importância e da necessidade de aprofundarem seus conhecimentos nesta área, para desempenhar suas atribuições com qualidade e confiança (OKUMURA e TANIGUCHI, 1982).

A produção de estruturas soldadas deve obedecer previamente aos requisitos técnicos e de qualidade previamente especificados, mas também, utilizar de maneira racional e econômica os recursos disponíveis, dependendo grandemente de um sistema de gerenciamento imposto durante a execução do projeto (OKUMURA e TANIGUCHI, 1982).

A proatividade da ferramenta FMEA nos proporciona através de suas ações grandes oportunidades de melhorias com a antecipação e prevenção das possíveis falhas no processo (ARAÚJO,2011).

O objetivo da análise dos modos de falhas e seus efeitos é estimar as falhas potenciais de um produto ou processo avaliando sua importância relativa separando os tipos de falhas e seus efeitos sobre o consumidor (CERQUEIRA, 2011).

Sendo assim, este trabalho tem como o objetivo identificar e analisar os modos de falhas e seus efeitos no processo de soldagem GMAW aplicando a ferramenta FMEA mostrando a sua importância e os ganhos que estas ferramentas nos proporciona antecipando e tratando as falhas que podem ocorrer durante o processo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Este Trabalho tem como objetivo identificar os modos de falhas e seus efeitos no processo de soldagem GMAW através da ferramenta de FMEA (Análise de modo e efeito de falha potencial)

2.2 Objetivos específicos

1. Identificar os possíveis modos falhas que podem ocorrer no processo de soldagem GMAW.
2. Analisar os efeitos das possíveis falhas.
3. Demonstrar resultados através de ferramenta FMEA.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Histórico da Soldagem

O processo de soldagem já é conhecido desde os tempos pré-históricos, onde, já se usava a soldagem como arte para união de dois ou mais materiais metálicos. Por volta de 3000 a 4000 A.C se usava o processo de brasagem para união de ligas como ouro, cobre, chumbo e estanho, no qual se usava como fonte de energia lenha ou carvão vegetal (MODENESI, MARQUES e SANTOS, 2011).

Com a descoberta da energia elétrica teve início o desenvolvimento de alguns processos de soldagem (OKUMURA e TANIGUSHI, 1982). Em 1885 surgiu o processo de soldagem com o uso do arco elétrico, no qual, foi utilizado um eletrodo de grafita a 2 mm do metal base gerando calor suficiente para-se obter o arco, promovendo a fusão do metal base e o metal de enchimento (OKUMURA e TANIGUSHI, 1982). Em 1892 foi utilizado pela primeira vez na história um eletrodo metálico que se fundia diretamente na poça de fusão. Posteriormente foi descoberto que esse eletrodo metálico revestido por um material formado de escória melhorava significativamente a qualidade da junta soldada, dando assim, o início dos eletrodos revestidos utilizados atualmente (OKUMURA e TANIGUSHI, 1982)

Outros trabalhos também marcaram a história se tratando de desenvolvimento de soldagem. Em 1886 foi desenvolvido o processo de soldagem por resistência elétrica; em 1895 desenvolveu-se a solda termite e, em 1901 a solda oxiacetileno foi empregada com grande sucesso na união de materiais metálicos (MACHADO, 1996).

Após um grande intervalo de descobertas, em 1926, mais um grande avanço na tecnologia de soldagem foi descoberto, o processo de soldagem por meio de hidrogênio atômico e logo em seguida, o processo de soldagem em atmosfera gás inerte, cujo mesmo é empregado atualmente (MACHADO, 1996).

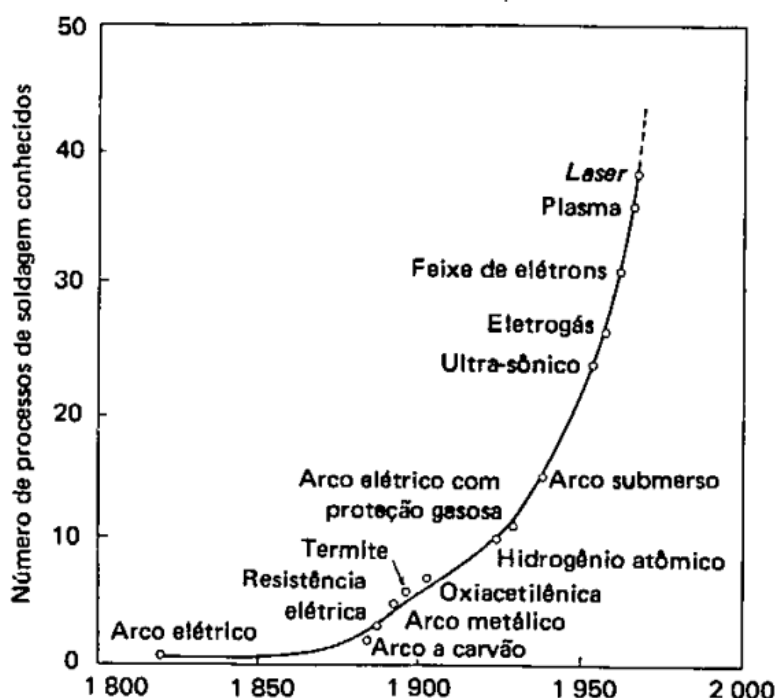
Com o avanço da ciência e tecnologia, a partir da década de 50, a engenharia de soldagem passou a desenvolver técnicas mais sofisticadas no emprego de aplicações específicas, onde houve o surgimento de diversas patentes, destacando a soldagem por pressão a frio, por atrito, em atmosfera por gás ativo ou CO₂, soldagem por eletro escória, soldagem ultrassônica, por feixe de elétrons, plasma, por laser entre outros (OKUMURA e TANIGUSHI, 1982).

Na década de 40, durante a Segunda Guerra Mundial, os navios e pontes metálicas começaram a apresentar falhas nas suas estruturas, aonde, as maiores ocorrências aconteciam na região das juntas soldadas, em razão dessas ocorrências surgiram os métodos de ensaios, como por exemplo, o método Charpy, utilizado em larga escala em muitos países (OKUMURA e TANIGUCHI, 1982). Caminhando

juntamente com o processo de soldagem, os métodos de ensaio estão andando em constante evolução e contribuindo cada vez mais para ampliar os horizontes da soldagem tornando a execução das uniões estruturais altamente confiáveis e econômicas (OKUMURA e TANIGUSHI, 1982).

A Figura 1 representa uma retrospectiva do desenvolvimento dos processos de soldagem em função do tempo.

Figura 1 – Evolução dos processos de soldagem



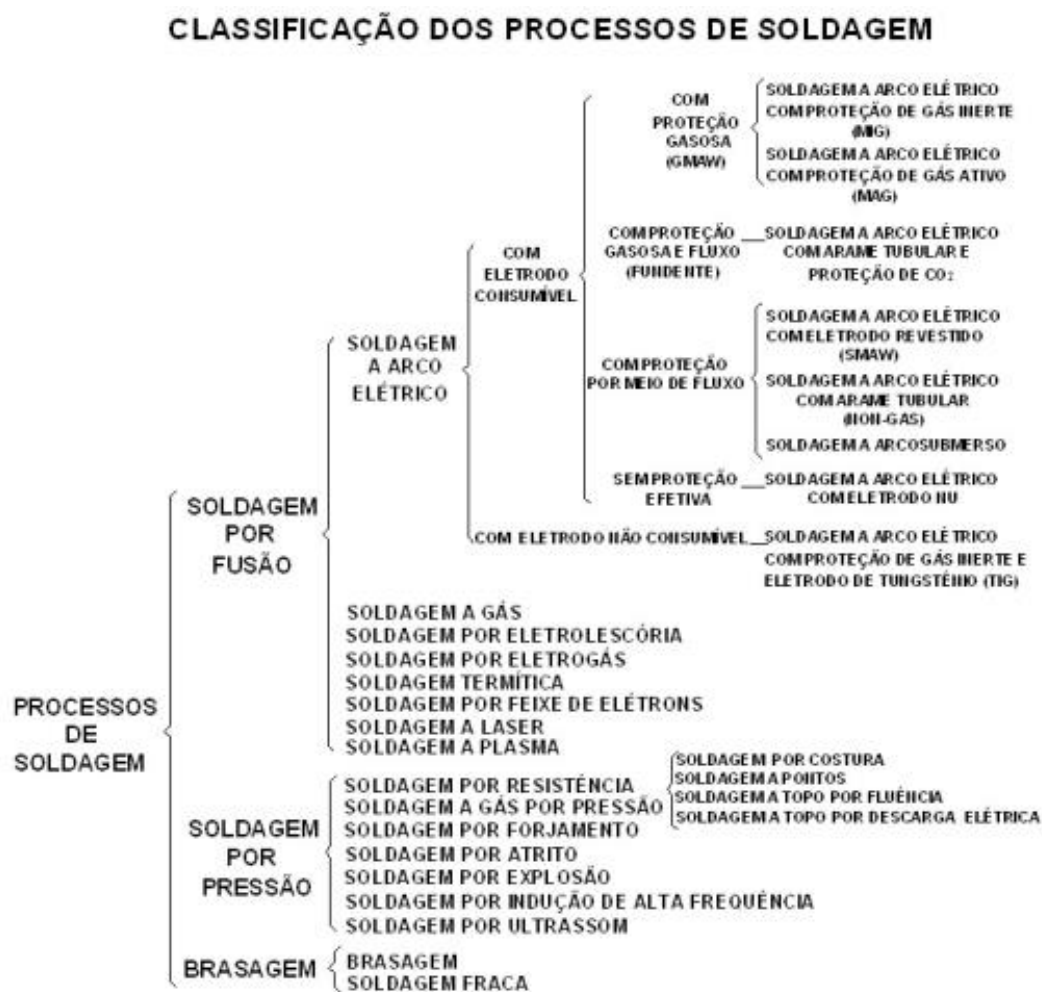
Fonte: OKUMURA e TANIGUSHI (1982)

3.1.1 Processos de Soldagem

A história mostra que a soldagem é utilizada desde épocas mais remotas, para Modenesi, Marques e Santos (2011), já foram descobertos artefatos datados entre 3000 e 4000 anos e já se utilizava os processos de brasagem e soldagem por forjamento. Conforme Neris (2012), soldagem é a operação que visa obter a união entre duas ou mais peças, assegurando a continuidade das propriedades físicas e químicas necessárias ao seu desempenho. Após a descoberta do arco elétrico e a utilização do gás acetileno vieram os avanços e a modernização das técnicas dos

processos de soldagem. Segundo Peixoto (2012), soldagem é o processo pelo qual se consegue a união, solda é a região de união onde houve a solubilização. A Figura 2 mostra os diferentes tipos de soldagem classificado de acordo com método de união, subdivida pela forma de energia empregada no processo.

Figura 2 - Classificação dos Processos de soldagem



Fonte: NERIS (2012)

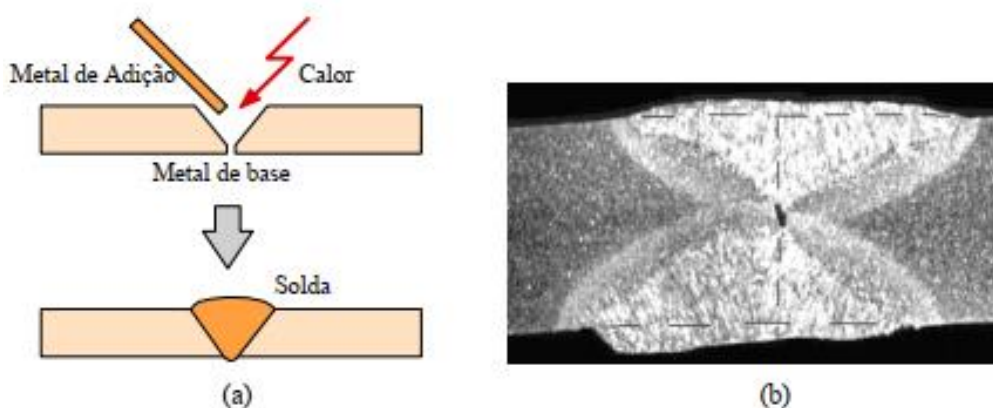
3.1.2 União

Os métodos de união de metais são divididos em duas categorias que são classificadas como permanente ou móvel. Segundo Modenesi, Marques e Santos (2011), que são os apoiados em forças mecânicas macroscópicas entre as partes a serem unidas, no caso a parafusagem e a rebiteagem onde teremos a resistência da

junta dada pela resistência ao cisalhamento do parafuso ou rebite e, somando as forças de atrito entre as superfícies de contato.

No segundo caso aqueles apoiados em forças microscópicas (Inter atômicas ou intermoleculares), a união é conseguida pela aproximação dos átomos e moléculas das partes a serem unidas, ou destas e um material intermediário, até distâncias suficientemente pequenas para a formação de ligações químicas primárias, temos como exemplo a soldagem, brasagem e colagem. Dentre os processos de soldagem por fusão, aqueles que utilizam o arco elétrico como fonte de energia são os mais utilizados industrialmente, (MODENESI; MARQUES e SANTOS, 2011). Os processos de soldagem por fusão se constituem na aplicação localizada de calor na região da união para a sua fusão e do metal de adição (quando este for utilizado), produzindo a ligação pela solidificação do metal fundido, conforme Figura 3.

Figura 3 - Representação esquemática da soldagem por fusão



Fonte: MODENESI (2001)

Nos dias atuais é encontrada uma grande gama de processos de soldagem por fusão, estes são normalmente separados em subgrupos. Uma classificação muito útil e utilizada e agrupa os processos de acordo com o tipo de fonte de energia usada para fundir as peças. A Tabela 1 mostra alguns processos de soldagem por fusão e suas características principais. Dentre os processos de soldagem por fusão os que utilizam o arco elétrico como fonte de energia são os mais utilizados industrialmente.

Tabela 1 - Processos de soldagem por fusão

PROCESSO	FONTES DE CALOR	TIPO DE CORRENTE E POLARIDADE	AGENTE PROTETOR OU DE CORTE	OUTRAS CARACTERÍSTICAS	APLICAÇÕES
Soldagem por eletro-escória	Aquecimento por resistência da escória líquida	Contínua ou alternada	Escória	Automática/Mecanizada. Junta na vertical. Arame alimentado mecanicamente na poça de fusão. Não existe arco	Soldagem de aço carbono, baixa e alta liga, espessura ≥ 50 mm. Soldagem de peças de grande espessura, eixos, etc.
Soldagem ao Arco Submerso	Arco elétrico	Contínua ou alternada. Eletrodo +	Escória e gases gerados	Automática/mecaniz. ou semi-automática. O arco arde sob uma camada de fluxo granular	Soldagem de aço carbono, baixa e alta liga. Espessura ≥ 10 mm. Posição plana ou horizontal de peças estruturais, tanques, vasos de pressão, etc.
Soldagem com Eletrodos Revestidos	Arco elétrico	Contínua ou alternada. Eletrodo + ou -	Escória e gases gerados	Manual. Vareta metálica recoberta por camada de fluxo	Soldagem de quase todos os metais, exceto cobre puro, metais preciosos, reativos e de baixo ponto de fusão. Usado na soldagem em geral.
Soldagem com Arame Tubular	Arco elétrico	Contínua. Eletrodo +	Escória e gases gerados ou fornecidos por fonte externa. Em geral o CO_2	O fluxo está contido dentro de um arame tubular de pequeno diâmetro. Automático ou semi-automático	Soldagem de aço carbono com espessura ≥ 1 mm. Soldagem de chapas
Soldagem MIG/MAG	Arco elétrico	Contínua. Eletrodo +	Argônio ou Hélio, Argônio + O_2 , Argônio + CO_2 , CO_2	Automática/mecaniz. ou semi-automática. O arame é sólido	Soldagem de aço carbono, baixa e alta liga, não ferrosos, com espessura ≥ 1 mm. Soldagem de tubos, chapas, etc. Qualquer posição
Soldagem a Plasma	Arco elétrico	Contínua. Eletrodo -	Argônio, Hélio ou Argônio + Hidrogênio	Manual ou automática. O arame é adicionado separadamente. Eletrodo não consumível de tungstênio. O arco é constrito por um bocal	Todos os metais importantes em engenharia, exceto Zn, Be e suas ligas, com espessura de até 1,5 mm. Passes de raiz
Soldagem TIG	Arco elétrico	Contínua ou alternada. Eletrodo -	Argônio, Hélio ou misturas destes	Manual ou automática. Eletrodo não consumível de tungstênio. O arame é adicionado separadamente.	Soldagem de todos os metais, exceto Zn, Be e suas ligas, espessura entre 1 e 6 mm. Soldagem de não ferrosos e aços inox. Passe de raiz de soldas em tubulações
Soldagem por Feixe Eletrônico	Feixe eletrônico	Contínua. Alta Tensão. Peça +	Vácuo ($\approx 10^{-4}$ mm Hg)	Soldagem automática. Não há transferência de metal. Feixe de elétrons focalizado em um pequeno ponto.	Soldagem de todos os metais, exceto nos casos de evolução de gases ou vaporização excessiva, a partir de 25 mm de espessura. Indústria nuclear e aeroespacial.
Soldagem a Laser	Feixe de luz		Argônio ou Hélio	Como acima	Como acima. Corte de materiais não metálicos
Soldagem a Gás	Chama oxiacetilênica		Gás (CO , H_2 , CO_2 , H_2O)	Manual. Arame adicionado separadamente	Soldagem manual de aço carbono, Cu, Al, Zn, Pb e bronze. Soldagem de chapas finas e tubos de pequeno diâmetro

Fonte: MODENESI (2011)

3.1.3 Modos de operação

Segundo Tremonti (1999), a soldagem pode ser caracterizada como manual, semiautomática, mecanizada, automática e automatizada.

O processo de soldagem MIG/MAG pode ser: Automático ou semiautomático. No processo semiautomático (semi = meio) o arame eletrodo é alimentado automaticamente através de uma pistola, o soldador controla a inclinação do bocal, a

altura bocal x peça, a velocidade de deslocamento (avanço) e os movimentos pendulares (SENAI – SP, 2004). As diferenças entre os tipos de soldagem e seus modos de operação estão expressas na Figura 4.

Figura 4 - Modos de operação de soldagem

METODO E APLICAÇÃO	<i>Manual</i>	<i>Semi automático</i>	<i>Mecanizado</i>	<i>Automático</i>	<i>Automatizado</i>
SOLDAGEM AO ARCO ELEMENTOS E FUNÇÕES					
<i>Início e manutenção do arco elétrico</i>	Pessoa	Máquina	Máquina	Máquina	Máquina (com sensor)
<i>Avanço do eletrodo no arco elétrico</i>	Pessoa	Máquina	Máquina	Máquina	Máquina
<i>Controle da energia para adequada penetração</i>	Pessoa	Pessoa	Máquina	Máquina	Máquina (com sensor)
<i>Deslocamento do arco elétrico ao longo da junta</i>	Pessoa	Pessoa	Máquina	Máquina	Máquina (com sensor)
<i>Guia do arco elétrico ao longo da junta</i>	Pessoa	Pessoa	Pessoa	Máquina	Máquina (com sensor)
<i>Manipulação da tocha</i>	Pessoa	Pessoa	Pessoa	Máquina	Máquina (com sensor)
<i>Correção do arco elétrico em desvios</i>	Pessoa	Pessoa	Pessoa	Não corrige imperfeições detectadas na densidade potência	Máquina (com sensor)

Fonte: TREMONTI (1999)

3.2 Processo de soldagem GMAW

De acordo com a *American Welding Society* (AWS), a soldagem se estabelece como um processo de ligação que gera a união dos materiais através do aquecimento

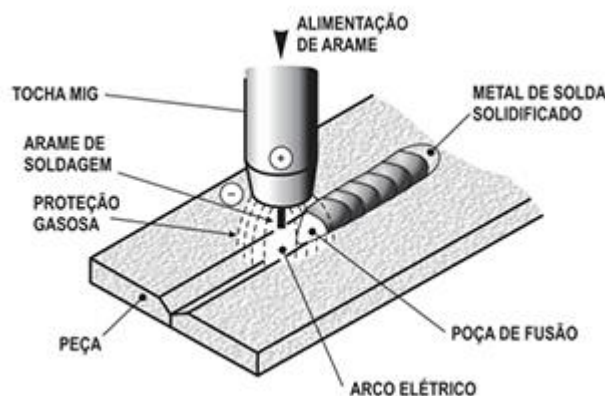
a altos níveis de temperatura, por aplicação de pressão ou sem aplicação de pressão, com uso de metal de adição ou não.

A concepção básica do processo de soldagem GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) iniciou-se em 1920, e tornou-se comercial somente após 1948 (FORTES, 2004).

O processo GMAW tem como característica a soldagem por arco elétrico com gás de proteção, trata-se de um processo de soldagem por arco elétrico entre a extremidade de um arame nu consumível, que em contato com a peça a ser soldada, realiza uma união de materiais metálicos pelo aquecimento e fusão (SCOTT e PONOMAREV, 2008).

A região em que é feita a soldagem é protegida por um desses 3 tipos de gases; gás inerte (Ar) argônio, gás ativo (CO₂) dióxido de carbono ou a mistura de ambos, a escolha do gás a ser utilizado dependerá do tipo de material (SCOTT e PONOMAREV, 2008). A Figura 5 ilustra o princípio básico do processo de soldagem GMAW.

Figura 5 - Princípio básico Processo de soldagem GMAW



Fonte: DOGBNIES (2008)

O processo de soldagem GMAW pode ser utilizado tanto de forma automática (quando se é feito através de uma máquina), ou semiautomática, (quando se é utilizada por um soldador). Por ser um processo em que o arame é alimentado mecanicamente, se torna um dos processos mais utilizado na indústria devido a sua alta produtividade comparado a outros processos de soldagem (FBTS, 2016).

O metal de adição quando fundido, é transferido à poça de fusão em formato de gotas. O método de transferência é classificado de acordo com sua forma,

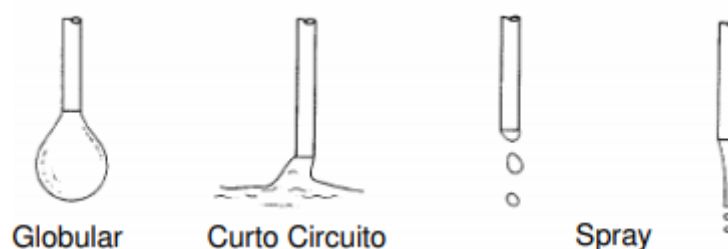
quantidade e dimensões das gotas, existem 3 tipos de classificação de transferência que são: transferência por spray, globular ou curto-circuito (FBTS, 2016).

De acordo com a Fundação Brasileira de Tecnologia de Soldagem, FBTS (2016) alguns fatores influenciam diretamente na transferência do metal depositado para a poça de fusão, esses fatores são:

- Gás de proteção;
- Intensidade e tipo de corrente;
- Tensão do arco elétrico;
- Diâmetro do arame;
- Composição química do arame;
- Extensão do arame (*stick - out*).

A Figura 6 mostra os tipos de transferência no processo GMAW

Figura 6 - Tipos de transferência no processo GMAW

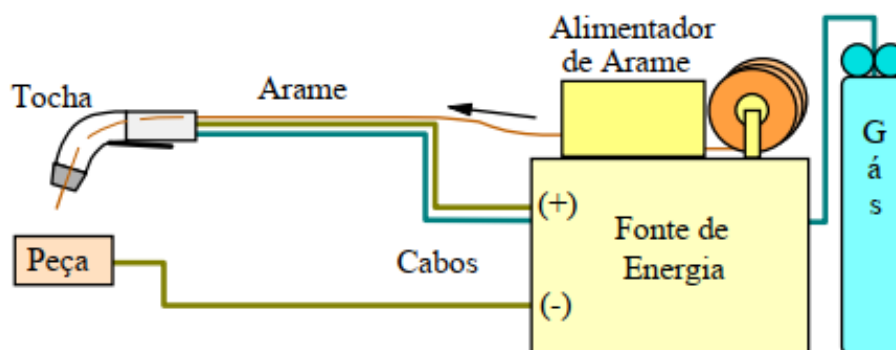


Fonte: MODENESI, MARQUES E VILLANI (2000)

3.2.1 Equipamentos de soldagem GMAW

Segundo Modenesi, Marques e Bracarense (2011), equipamento para soldagem MIG/MAG consiste em uma máquina de soldagem (Fonte de energia), uma pistola de soldagem (tocha), um alimentador de eletrodo nu, uma bobina de eletrodo nu e um reservatório de gás, conforme Figura 7.

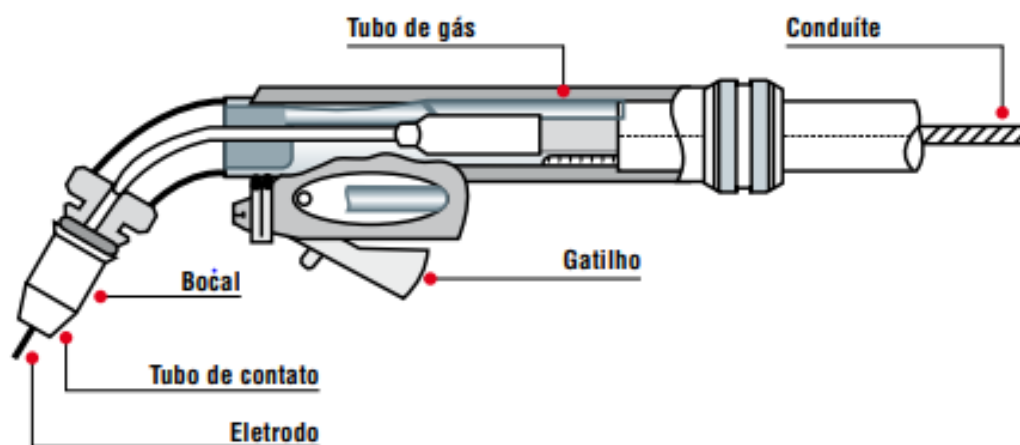
Figura 7 - Equipamento para soldagem GMAW



Fonte: VILLANI, MODENESI e BRACARENSE (2007)

Segundo Modenesi (2001) a tocha de soldagem possui um contato elétrico deslizante transmitindo a corrente elétrica para o arame, canais que guiam a passagem do gás de proteção, bocais que encaminham o fluxo de gás e interruptor para o início do processo, conforme Figura 8.

Figura 8 - Tocha de soldagem



Fonte: WAINER, BRANDI e MELLO (2005)

3.2.2 Unidades de alimentação do arame

Para Neris (2012), o motor alimentador de arame e o controle de soldagem são considerados um único módulo, tendo como principal função puxar o arame do carretel e alimentá-lo ao arco, controlando a velocidade a um valor adequado a

aplicação, sendo sua ativação controlada a partir do gatilho da tocha, determinando o início e o fim da alimentação.

3.2.3 Consumíveis

São considerados consumíveis de soldagem todos os materiais que serão utilizados na deposição e na proteção da soldagem a ser executada, tais como: eletrodos, varetas e arames, gases de proteção, fluxos e anéis consumíveis. Estes consumíveis devem atender às normas específicas que tem como finalidade de instituir a uniformidade das diversas características. A norma que rege os consumíveis que normalmente são utilizados na indústria brasileira é a AWS (*American Welding Society*), esta possui um conjunto de especificações.

Cada especificação classifica os consumíveis protegido por ela de acordo com critérios próprios, como propriedades mecânicas, composição química, entre outros. Cada especificação possui requisitos próprios para cada tipo de teste a ser aplicado, identificação, tolerância de fabricação, embalagem, entre outros.

3.2.3.1 Classificação dos consumíveis de soldagem conforme AWS

- AWS A5.1 - Eletrodos de aço-carbono para soldagem manual a arco com eletrodos revestidos (*carbon steel electrodes for shielded metal arc welding*)
- AWS A5.2 - Varetas de aço-carbono e baixa liga para soldagem oxigás (*carbon and low alloy steel rods for oxyfuel gas welding*).
- AWS A5.3 - Eletrodos de alumínio e suas ligas para soldagem manual a arco com eletrodos revestidos (*aluminum and aluminum-alloy electrodes for shielded metal arc*).
- AWS A5.4 - Eletrodos revestidos de aço inoxidável para soldagem a arco com eletrodos revestidos (*stainless steel electrodes for shielded metal arc welding*).
- AWS A5.5 - Eletrodos de aço baixa liga para soldagem a arco com eletrodos revestidos (*low alloy steel electrodes for shielded metal arc welding*).
- AWS A5.6 - Eletrodos cobertos de cobre e ligas de cobre para soldagem a arco (*covered opper and copper alloy arc welding electrodes*).

- AWS A 5.7 - Varetas e arames de cobre e ligas de cobre (*copper and copper alloy bare welding rods and electrodes*).
- AWS A 5.8 - Metais de adição para brasagem e solda brasagem (*filler metals for brazing and braze welding*).
- AWS A 5.9 Varetas e arames de aço inoxidável para soldagem (*bare stainless steel welding electrodes and rods*).
- AWS A 5.10 - Varetas e arames de soldagem de alumínio e ligas de alumínio (*bare aluminum and aluminum-alloy welding electrodes and rods*).
- AWS A 5.11 - Eletrodos de níquel e ligas de níquel para soldagem a arco por eletrodo revestido (*nickel and nickel-alloy welding electrodes for shielded metal arc welding*).
- AWS A 5.12 - Eletrodos de tungstênio e ligas de tungstênio para soldagem a arco e corte (*tungsten and tungsten-alloy electrodes for arc welding and cutting*).
- AWS A 5.13 - Eletrodos revestidos para soldagem de revestimentos (*surfacing electrodes for shielded metal arc welding*).
- AWS A 5.14 - Varetas e arames de níquel e ligas de níquel para soldagem (*nickel and nickel alloy bare welding electrodes and rods*).
- AWS A 5.15 - Eletrodos e varetas para soldagem de ferro fundido (*welding electrodes and rods for cast iron*).
- AWS A 5.16 - Eletrodos e varetas para soldagem de titânio e ligas de titânio (*titanium and titanium-alloy welding electrodes and rods*).
- AWS A 5.17 - Eletrodos e fluxos para soldagem a arco submerso (*carbon steel electrodes and fluxes for submerged arc welding*).
- AWS A 5.18 – Varetas e arames de aço-carbono para soldagem a arco com proteção gasosa (*carbon steel electrodes and rods for gas shielded arc welding*).
- AWS A 5.20 - Arames tubulares de aço-carbono para soldagem a arco (*carbon steel electrodes for flux cored arc welding*).
- AWS A 5.21 - Varetas e arames de aço-carbono para soldagem a arco com proteção gasosa (*carbon steel electrodes and rods for gas shielded arc welding*).

- AWS A 5.22 - Arames tubulares de aço-carbono para soldagem a arco (*carbon steel electrodes for flux cored arc welding*).
- AWS A 5.23 - Varetas e arames para soldagem de revestimento (*bare electrodes and rods for surfacing*).
- AWS A 5.24 - Arames tubulares de aço inoxidável para soldagem a arco e varetas tubulares de aço inoxidável para soldagem pelo processo TIG (*stainless steel electrodes for flux cored arc welding and stainless steel flux cored rods for gas tungsten arc welding*).
- AWS A 5.25 - Eletrodos de aço baixa liga e fluxos para soldagem a arco submerso (*low-alloy steel electrodes and fluxes for submerged arc welding*).
- AWS A 5.26 - Eletrodos e varetas para soldagem de zircônio e ligas de zircônio (*zirconium and zirconium-alloy welding electrodes and rods*).
- AWS A 5.27 - Eletrodos de aço-carbono e aços baixa liga e fluxos para soldagem por eletroescória (*carbon and low-alloy steel electrodes and fluxes for electroslag welding*).
- AWS A 5.28 - 26 Eletrodos de aço-carbono e aços baixa liga e fluxos para soldagem por eletrogás (*carbon and low-alloy steel electrodes for electrogas welding*).
- AWS A 5.29 - Arames e varetas de aços baixa liga para soldagem a arco com proteção gasosa (*low-alloy steel electrodes and rods for gas shielded arc welding*).
- AWS A 5.30 - Arames tubulares de aços baixa liga para soldagem a arco (*low-alloy steel electrodes for flux cored arc welding*).
- AWS A 5.31 - Fluxos para brasagem e solda brasagem.
- AWS A 5.32 - Gases para proteção gasosa.

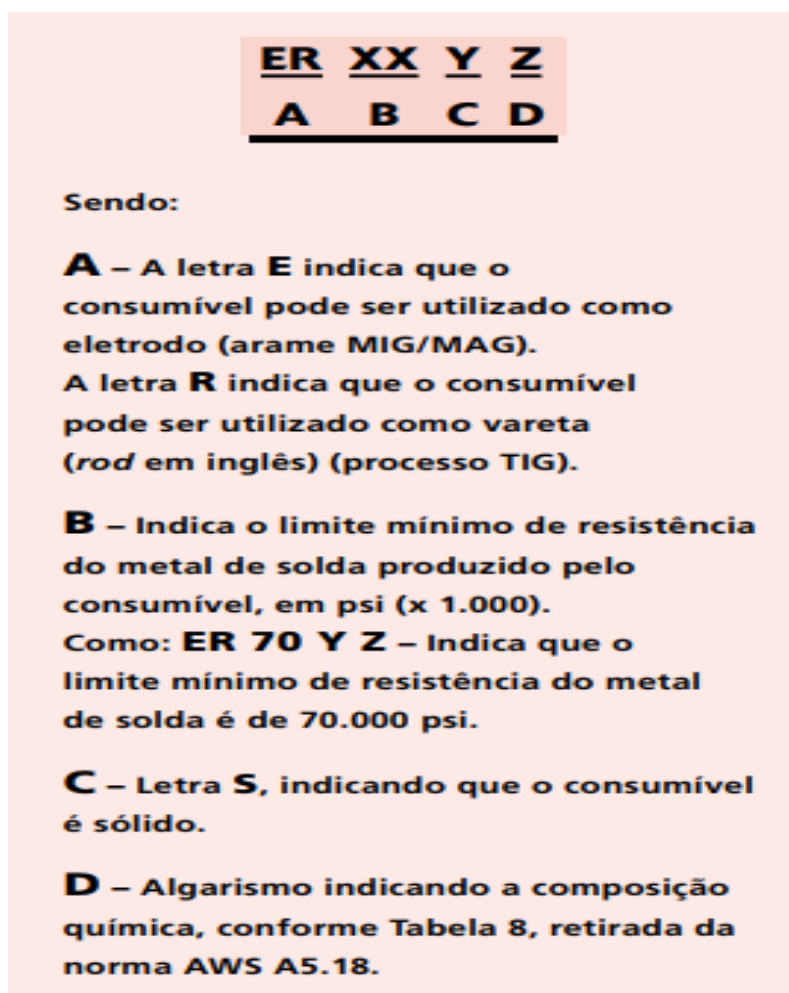
3.2.3.2 Identificação dos consumíveis conforme AWS A5.18

Esta especificação classifica os consumíveis de acordo com:

- Composição química do arame/vareta
- Propriedades mecânicas do metal de solda

Os consumíveis sob a especificação AWS A5.18 são identificados obedecendo o seguinte critério apresentado na Figura 9.

Figura 9 - Identificação consumíveis de soldagem conforme AWS A5.18



Fonte: SENAI-BA CIMATEC, (2012)

3.2.3.3 Teste de fabricação

Os eletrodos, em seu processo de fabricação são submetidos aos seguintes testes:

- Análise de composição química da vareta ou arame
- Teste radiográfico
- Teste de tração

- Teste de impacto
- Teste de hidrogênio difusível (quando solicitado pelo comprador)

3.2.3.4 Principais classificações de eletrodo/vareta da especificação AWS A5.18

- ER 70 S3 Normalmente encontrado na forma de vareta para soldagem no processo TIG. É a vareta mais utilizada na soldagem dos aços-carbono.
- ER 70 S6 Normalmente encontrado na forma de arame para soldagem no processo GMAW (MIG/MAG). É o arame mais utilizado na soldagem dos aços-carbono.

3.2.3.5 Gases de proteção

De acordo com estudo da literatura os gases de proteção também são classificados como consumíveis de soldagem, esses gases atuam na proteção da soldagem, as características do gás de proteção afetam no desempenho dos processos de soldagem com proteção gasosa. A capacidade de ionização do gás influencia na facilidade de abertura do arco e na sua estabilidade.

Na soldagem os gases de proteção também são considerados consumíveis de soldagem, esses gases agem na proteção da soldagem, as propriedades do gás de proteção afetam na performance dos processos de soldagem com proteção gasosa. A capacidade de ionização do gás influencia na facilidade de abrir o arco e na sua estabilidade.

3.2.3.5.1 Classificação dos gases para soldagem

Os gases são classificados conforme sua reação com o metal fundido durante a soldagem e são classificados como:

Inertes - São aqueles que não têm qualquer reação com a poça de fusão, agindo somente como proteção.

Os principais gases inertes são:

- Argônio (Ar)
- Hélio (He)
- Mistura dos dois

O argônio - É um gás de baixo custo no Brasil e de fácil obtenção quando comparado ao hélio e, sendo usado em qualquer soldagem nos processos de soldagem TIG e MIG, atingindo boa soldabilidade, produtividade e características do arco. Possui baixa capacidade de ionização, assegura um excelente fluxo de corrente, originando um arco estável. O grau de pureza necessário à soldagem da maioria dos materiais é de 99,99%. Por ser mais pesado que o hélio (He) precisa de menor quantidade para realizar uma proteção efetiva. Mostra boa capacidade de penetração, mas menor que o hélio (He).

Já o Hélio é um gás menos denso que o argônio obtido a partir da separação do gás natural, que apresenta como uma das suas características principais uma maior condutividade térmica que o argônio, além de produzir uma “coluna” de arco mais larga. Estas características o tornam mais recomendável em aplicações que sejam necessárias maiores energias de soldagem, como na soldagem de materiais de alta condutibilidade térmica, como o alumínio e o cobre, especialmente quando as espessuras são grandes.

Características do argônio comparado ao hélio:

- Melhor estabilidade do arco.
- Maior facilidade de abertura e manutenção do arco.
- Menor consumo.
- Menor custo e maior disponibilidade no mercado.
- Menores tensões de arco (menor energia de soldagem).
- Menor penetração.
- Melhor efeito de limpeza de óxidos na soldagem de materiais como alumínio e magnésio.

Ativos – São aqueles que, além de agir como proteção, reage com o metal fundido, provocando alterações químicas e mecânicas no mesmo.

Os principais gases ativos são:

- Dióxido de carbono (CO₂)
- Mistura de dióxido de carbono + Argônio

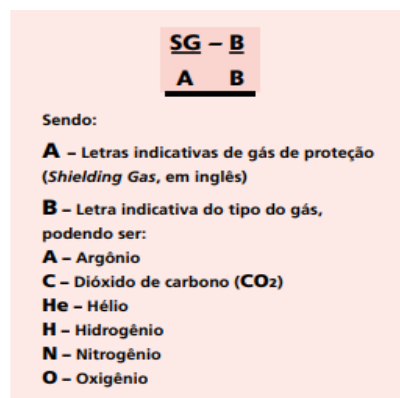
O dióxido de carbono (CO_2) utilizado nos processos MAG (Metal Active Gás), e FCAW (Arco Submerso), é um gás de baixo custo e facilmente obtido, devido à alta disponibilidade no mercado. O processo MAG é utilizado na soldagem dos aços carbono. Em contrapartida ao baixo custo, é um gás de baixa eficiência, havendo muitas perdas por fumos, e geração de grande quantidade de respingos. Apresenta característica de proporcionar altas velocidades de soldagem e alta capacidade de penetração. O processo MAG, proporciona os tipos de transferência: curto-circuito e globular, ambos com grande quantidade de respingos.

As misturas envolvendo Ar (argônio) alteram suas características melhorando a estabilidade do arco, alterando o tipo de transferência metálica, o aquecimento da poça de fusão, a largura de cordão e a profundidade de penetração.

A especificação AWS 5.32 regulamenta os gases para utilização como gases de proteção em soldagem.

A identificação da AWS para gases sem mistura obedece ao seguinte critério mostrada na Figura 10.

Figura 10 - Identificação para gases de soldagem sem mistura



Fonte: SENAI-BA CIMATEC, (2012)

Para os gases com mistura a AWS obedece ao seguinte critério mostrado na Figura 11.

Figura 11 - Identificação para gases de soldagem com mistura

<u>SG – B Y Z – % / %</u>				
<u>A</u>	<u>B</u>	<u>C</u>	<u>D</u>	<u>E</u>
Sendo:				
A – O mesmo que para gases sem mistura. B – Código (igual a gases sem mistura) do gás principal da mistura gasosa. C e D – Códigos (igual a gases sem mistura) dos demais gases que compõem a mistura gasosa, em ordem decrescente de percentagem. E – Percentual de cada gás na mistura gasosa, em ordem decrescente de percentagem (o percentual do gás principal não necessita ser apresentado, sendo a diferença entre 100% e a soma dos percentuais dos demais gases da mistura). Em relação ao percentual dos demais gases, além do gás principal, a norma estabelece uma tolerância de + 10% em relação ao que consta na identificação. Veja o exemplo a seguir:				
SG AC 25 – Mistura gasosa composta por dois gases (argônio e CO₂), cujo percentual de CO₂ é de 25%, porém com a tolerância de desvio é de 10%, o teor de CO₂ desta mistura pode ser de 25% + 2,5%, ou seja de 22,5 % a 27,5 % , sendo o restante argônio.				

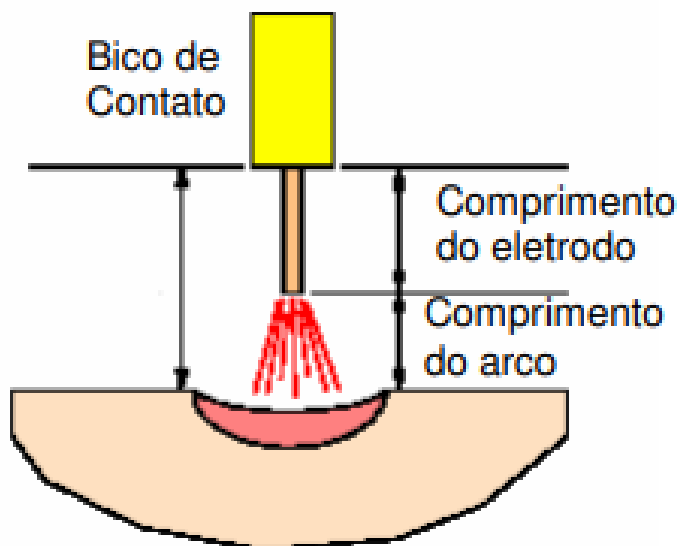
Fonte: SENAI-BA CIMATEC, (2012)

3.2.4 Parâmetros e variáveis do processo

A correta utilização do processo de soldagem GMAW depende de diversas variáveis presentes no processo na qual podem influenciar na qualidade final do processo (MACHADO,1996). Essas variáveis estão listadas abaixo:

- Tensão de soldagem – A tensão de soldagem tem influência no insumo de calor e tem relação direta com o comprimento e largura do arco. Tensões baixas provocam cordões mais estreitos e maior penetração, o oposto acontece com tensões elevadas além de causar respingos grosseiros, mordeduras e porosidades (MODENESI, 2000).
- O comprimento do arco é uma variável independente, mas a tensão de soldagem depende do comprimento do arco e de outras variáveis como composição e diâmetro do eletrodo, técnica de soldagem e gás de proteção. A tensão do arco significa, aproximadamente, a posição do arco em termos elétricos, porém, a tensão no arco inclui a queda de tensão conforme Figura 12, devido ao comprimento do eletrodo, além do bico de contato.

Figura 12 - Comprimento do arco

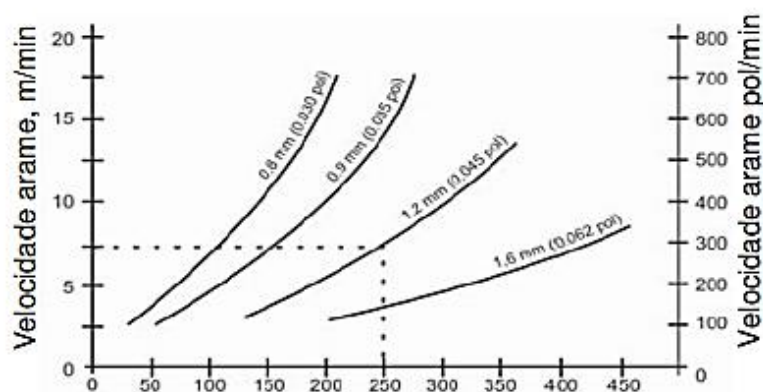


Fonte: MODENESI (2000).

- Corrente de soldagem – Uma corrente de soldagem alta tem influência diretamente na geometria do cordão de soldagem, no volume da poça fundida, no incremento da taxa de fusão, na largura da ZAC (zona afetada pelo calor) e na microestrutura de depósito (efeito sobre o aporte térmico). Porém, um aumento na corrente de soldagem irá causar um aumento na rigidez do arco e reduzir o nível de salpicos (mudança no modo de transferência). Se todas as outras variáveis do processo forem mantidas constantes, a corrente de soldagem irá variar de acordo com a velocidade de alimentação do arame ou com a taxa de fusão de maneira não linear. À medida que a velocidade de alimentação do eletrodo sofre variação, a corrente de soldagem irá variar de maneira semelhante se uma fonte de tensão constante for utilizada. Esta relação da corrente de soldagem com a velocidade de alimentação para eletrodos de aços carbono é ilustrada na Figura 13. Caso forem mantidas constantes todas as demais variáveis do processo, um aumento na corrente de soldagem (aumento na velocidade de alimentação do arame), irá causar aumento na largura e profundidade de

penetração, aumento do cordão e aumento na taxa de deposição (GIMENES; RAMALHO, 2006).

Figura 13 - Corrente de soldagem típicas x alimentação de eletrodos de aço

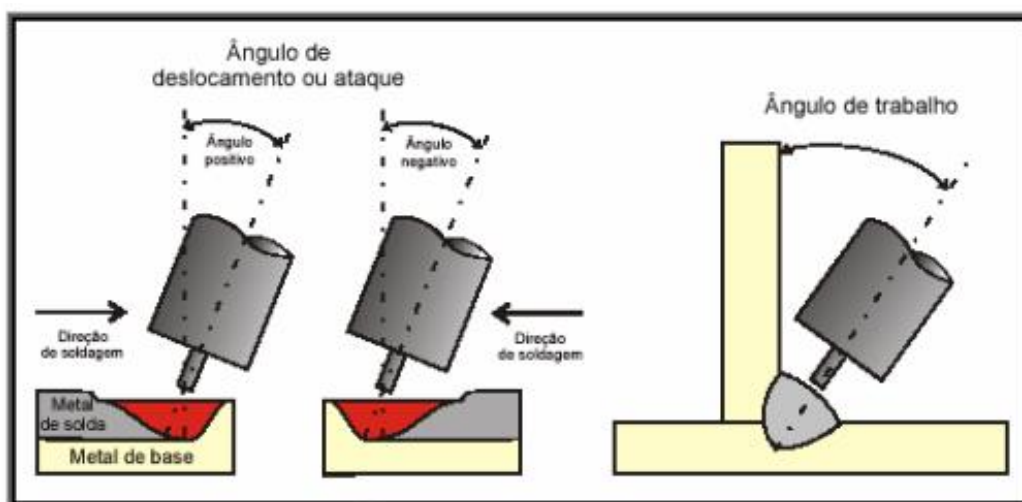


Fonte: BRACARENSE (2004)

- Velocidade de soldagem - Um aumento na velocidade de soldagem irá causar estreitamento do cordão e uma elevação na penetração em um primeiro momento e, diminuição dela em valores maiores. Com velocidades muito elevadas poderá ocorrer o surgimento de mordeduras (geometria irregular de cordão) e trincas de solidificação. Porém, o incremento na velocidade de soldagem, mantendo fixo os outros parâmetros, poderá gerar ainda uma redução no nível de distorção, tamanho da ZTA e modificação na microestrutura do metal depositado. Também com uma alta velocidade de soldagem, pelo efeito na taxa de resfriamento, também acarretarão aumentos nos limites de resistência à tração e escoamento e uma redução do alongamento (BRACARENSE, 2003).
- Ângulo de inclinação da tocha de soldagem - A utilização de um ângulo de ataque negativo entre 0 a 20°, dependendo da posição de soldagem empregada, facilitará o processo de limpeza catódica (remoção de óxido), mas, também provocará baixa penetração, seguido de um cordão largo e chato e com baixa incidência de salpico (BARRA, 2003) conforme mostrado na Figura 14. O emprego do ângulo de ataque positivo (eletrodo à ré), entre 0 a

20° produz cordões com maior penetração e reforço convexo, porém o controle da operação de soldagem se torna mais difícil e, o efeito da proteção do gás tende a diminuir, gerando porosidade. Transversalmente à solda localiza-se o ângulo de trabalho, compreendido normalmente entre 35 e 115° em relação a vertical (BARRA, 2003).

Figura 14 – Ângulos de posicionamento da tocha



Fonte: BARRA, (2003)

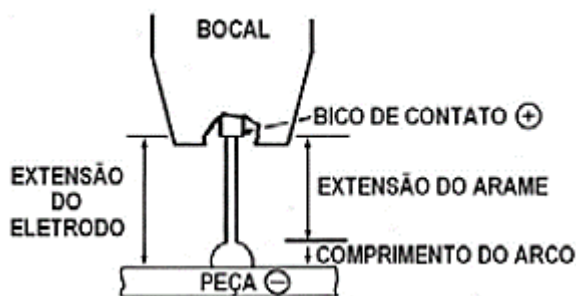
Agora, serão apresentadas algumas variáveis que afetam a penetração da solda, a geometria do cordão e a qualidade da solda. O conhecimento e o controle destas variáveis são fundamentais para a obtenção de soldas com qualidade satisfatórias. Estas variáveis não são independentes e para executar mudanças em uma delas, pode ser que haja necessidade de mudanças em uma ou mais variáveis, para produzir os resultados desejados. A habilidade e destreza do operador são necessárias para seleção e ajustes dos parâmetros para cada aplicação. Os valores são afetados pelo tipo de metal de base, pela composição do eletrodo, pela posição de soldagem e pelos requisitos de qualidade (GIMENES; RAMALHO, 2006).

Na soldagem GMAW além do ajuste dos parâmetros já mencionados, também é necessário a escolha de outras variáveis de soldagem para controlar o processo, a fim de se obter os resultados esperados. Estas variáveis são: o *stic-kout*, o fluxo de gás, a polaridade, a posição de soldagem e o diâmetro do eletrodo, que também influenciam consideravelmente na geometria do cordão de solda (UNB, 2006). Cada uma destas variáveis seguem listadas e explicadas abaixo:

- Extensão do eletrodo (stick-out) - É o comprimento livre do arame, contido entre o bico de contato da tocha de soldagem e a ponta do arame (eletrodo ainda não fundido) com a peça de trabalho.

A Figura 15 mostra esquematicamente a extensão do eletrodo. É nessa região onde ocorre o efeito Joule. Controlar a distância entre o bico de contato e a peça é de extrema importância. Extensões grandes de eletrodo resultam em metal de solda excessivo sendo depositado com baixo calor do arco. Isso gera uma geometria desfavorável do cordão e baixa penetração. Além disso, quando a distância do bico de contato à peça é aumentada, o arco torna-se menos estável. Na soldagem por curto-circuito recomenda-se uma distância entre o bico de contato e a peça de 10 mm (FORTES, 2005).

Figura 15 – Distância entre o bico de contato e a peça



Fonte: FORTES (2005).

3.3 Qualidade

A qualidade é um fator de diferenciação das empresas, tanto na prestação de serviços como na fabricação de produtos. Qualidade não é um conceito atual, pelo contrário, existe há milênios, porém nos últimos anos é mais utilizado nos aspectos gerencial e estratégico na busca de resultados (OLIVEIRA, 2006). Alguns conceitos de qualidade serão apresentados a seguir.

De acordo com Feigenbaum (1994), apud Pinheiro et al (2002), “*qualidade é o fator que proporciona o retorno do cliente pela segunda, terceira e décima quinta vez*”.

Segundo Ferreira (1994, p.591), qualidade é definida como *“propriedade, atributo ou condição das coisas ou pessoas capaz de distingui-las das outras e lhes determinar a natureza; numa escala de valores, qualidade é a propriedade que permite avaliar e, conseqüentemente, aprovar, aceitar ou recusar qualquer coisa”*.

Campos (1992, p.2) sintetiza o conceito de qualidade nos seguintes termos: *“um produto ou serviço de qualidade é aquele que atende perfeitamente, de forma confiável, de forma acessível, de forma segura e no tempo certo às necessidades do cliente”*.

Para Lobos (1991), qualidade é tudo que alguém faz ao longo de um processo para que o cliente, seja dentro ou fora de uma organização, obtenha exatamente o que desejava, tanto em termos de características ou de custo e atendimento.

Hill (1995) descreve qualidade como uma abordagem geral de gestão estruturada por certos princípios básicos e um conjunto de práticas e técnicas estatísticas para implementá-los.

Segundo a ISO 9000:2015, uma organização focada em qualidade promove uma cultura que resulta em comportamentos, atitudes, atividades e processos que agreguem valor por meio de satisfação das necessidades e expectativas dos clientes e outras partes interessadas relevantes. A qualidade dos produtos e serviços de uma organização é determinada pela capacidade de satisfazer os clientes e seu impacto intencional e não intencional. A qualidade dos produtos e serviços inclui não apenas a sua função objetiva e desempenho, mas também o seu valor e percepção do benefício pelo cliente.

3.3.1 Pioneiros da qualidade

Muitos estudiosos contribuíram de forma significativa na elaboração e entendimento dos conceitos e práticas de qualidade muito utilizados pelas empresas hoje em dia. Alguns são citados a seguir, conforme levantamento de Campello e Oliveira (2005):

- W. Edwards Deming, um dos mais conhecidos, desenvolveu um sistema para controle estatístico da qualidade, com ênfase no comprometimento e nas ações da gerência das organizações e na consciência da necessidade de contínua melhoria;

- Joseph M. Juran o primeiro guru da qualidade com aplicação da mesma à estratégia empresarial, segundo ele, os processos de negócio eram a maior e a mais negligenciada oportunidade de melhoria nas próprias empresas;
- Armand Feigenbaum usou uma abordagem mais abrangente, desenvolveu o controle total da qualidade, com o objetivo de desenvolver, manter e aprimorar a qualidade para inibir a propagação de falhas ou erros;
- Philip Crosby estabeleceu que um sistema para alcançar melhores níveis de qualidade deveria ser principalmente preventivo e, assim, elaborou o conceito zero defeito como uma direção a seguir; foi quem obteve maior sucesso comercial promovendo seus pontos de vista sobre a qualidade;
- Kaoru Ishikawa o japonês com maior destaque na área da qualidade; insistia na prática da qualidade durante todo o tempo, de modo sistemático, sem interrupções: "o processo subsequente é o seu cliente";
- Genichi Taguchi desenvolveu a estatística aplicada à qualidade e foi especialista mundial de desenvolvimento e design de novos produtos.

3.3.2 Qualidade antes da série ISO 9000

É muito difícil dizer ao certo quando o homem passou a utilizar o conceito ou a percepção de qualidade. De acordo com Perissé (2010), a palavra qualidade procede do latim *qualitatem*, termo criado por Cícero (morto em 43 aC) quando traduzia Platão (morto em 348/347 aC). A base é o pronome *qualis*, "de que natureza" e tem a ver com a pergunta "qual?". Segundo Lobo (2002), nos séculos XVIII e XIX a qualidade era ditada pelos artesãos que acompanhavam desde a fabricação do produto até sua venda, utilizando atividades de detecção e correção de erros. Naquela época, o artesão tinha um conhecimento individual de qualidade, conhecimento adquirido pela relação que mantinha com o cliente e com a produção. Com o surgimento da produção em massa, os artesões foram trocados por mão de obra sem especialização, com produtos em série para clientes distantes do responsável pela atividade de produzir. Com isso, perde-se o conhecimento especializado e a proximidade com o cliente, que facilitava muito a satisfação dele. Inicia-se então a era do Taylorismo, que trouxe uma revolução na organização do trabalho, passando a buscar alta produtividade com o trabalho em série, gerando diminuição da qualidade

do produto. Com a Primeira Guerra Mundial (1914-1918) o problema de qualidade agravou-se e vários produtos bélicos e militares apresentaram muitos defeitos. Em 1931, uma publicação do matemático americano W. A. Shewart, *chamada Economic Control of Manufactured Products*, revolucionou os conceitos até então praticados como qualidade. Durante esta ocasião a qualidade passa a ser abordada com aspecto científico através do uso do conceito de probabilidade e estatística para inspecionar a produção. No século XX foi introduzido o conceito de inspeção resume-se ao processo de verificação de lotes ou amostras de produtos já existentes a fim de determinar se a qualidade do produto atende às especificações do cliente. Na fase da inspeção, o grande foco era medir “está bom” ou “está ruim”. Foi uma fase com geração de muitos produtos não conformes que muitas vezes eram descartados gerando um grande volume de desperdício nas empresas. Da inspeção evolui-se para o controle da qualidade, onde além da inspeção, incluem-se em suas atividades os conceitos estatísticos, como cartas de controle, diagrama de Pareto, amostragens estatísticas, uso de fluxogramas, análises de tendências, entre outros. O grande ganho da fase de controle da qualidade são as tratativas de erros com ferramentas estatísticas.

A Segunda Guerra Mundial (1939-1945) gerou uma grande mudança das indústrias para a fabricação de produtos militares com qualidade e dentro dos prazos. Esta época foi considerada o apogeu do controle estatístico da qualidade (SCHUCHTER, 2004).

Após essa guerra os japoneses notaram a necessidade de partir para a industrialização como forma de evitar sua extinção, importando recursos naturais escassos por lá e exportando produtos manufaturados com qualidade, preço e fabricação eficiente (CORTADA e QUINTELLA, 1994). De modo, segundo estes autores, chegou ao Japão em 1950 o americano considerado um dos grandes mestres e filósofos da qualidade, o professor Deming. Em 1954 Juran também chega para ensinar qualidade e foi criada a JUSE (*Japanese Union of Scientists and Engineers*) para acompanhar e desenvolver as normas e conceitos de qualidade dentro do Japão. Durante Guerra da Coréia (década de 60) a indústria bélica americana se destacou com o programa “zero defeito” criado por Crosby. Foram desenvolvidos com sucesso no Japão, por Ishikawa, os Círculos de Controle de Qualidade (SCHUCHTER, 2004). Durante esta fase o professor Ishikawa traz também um método de combate ao desperdício para ajudar o país destruído pela guerra e

sem recursos naturais, o programa 5S, que tem como base a prática milenar de princípios educacionais, com foco no ensinamento passado entre gerações, onde os pais ensinam aos seus filhos os princípios:

- SEIRI- organização, utilização, seleção, descarte, classificação;
- SEITON- arrumação, ordenação, sistematização, organização;
- SEISO- limpeza, inspeção, zelo;
- SEIKETSU- padronização, saúde, asseio, higiene, aperfeiçoamento;
- SHITSUKE- autodisciplina, autocontrole, disciplina, harmonia, educação.

Desde que o 5S chegou ao ocidente ele vem sendo implantado e praticado por diversas empresas como base para implantação do sistema de qualidade, contribuindo em muito também no processo de mudança comportamental, muito importante para os ocidentais.

Nos década de 70 e 80, segundo Cortada e Quintella (1994), Estados Unidos e Japão eram as maiores potências se tratando de qualidade, mas, com estratégias diferentes. O Estados Unidos focava a visão de mercado e necessidades dos clientes e o Japão investia na melhoria contínua de seus processos.

De acordo com Umeda (1996), estabeleceu-se uma nova ordem para a qualidade no ocidente. Desde então a qualidade japonesa torna-se palavra de ordem e surge o TQC - Controle Total da Qualidade (*Total Quality Control*), conhecido e praticado no Brasil pelo mestre da qualidade, o engenheiro Vicente Falconi Campos.

Campos (1992) cita os tópicos que formam o conceito do TQC: orientação pelo cliente, qualidade em primeiro lugar, ação orientada por prioridades, ação orientada por fatos e dados, controle de processos, controle da dispersão, próximo processo é seu cliente, controle a montante, ação de bloqueio, respeito pelo empregado como ser humano e comprometimento da alta administração. Surge um novo termo e conceito - a garantia da qualidade, que se refere a um programa de acompanhamento sistemático e avaliação dos diferentes aspectos de um projeto, serviço ou facilidade para garantir que os padrões de qualidade estão sendo cumpridos. Assim passa a dominar a preocupação com a qualidade desde a aquisição da matéria prima até a entrega do produto ao cliente final. Todas as atividades de um processo passam a ter um olhar com foco na qualidade, buscando reduzir as inspeções para apenas o final do processo, assim como os desperdícios gerados como modo de medir a qualidade.

Neste momento, a qualidade passa a ter um foco totalmente preventivo (CAMPOS,1992).

No Brasil, a preocupação real com a qualidade começou na década de 80, porém, somente com a abertura da economia ao mercado mundial em 1990, foi que as empresas brasileiras passaram a ver e sentir a necessidade de aumentar sua produtividade e qualidade, para sobreviver no mercado globalizado (UMEDA, 1996).

Surge uma nova era da qualidade, se inicia devido à expansão da globalização e surge a necessidade de normas internacionalmente reconhecidas. A Inglaterra desenvolveu no ano de 1979 a norma BS 5750 conhecida como norma de gestão, pois além de especificar como produzir, falava também sobre o gerenciamento do processo de produção. Na década de 80, o governo britânico convenceu a Organização Internacional para Padronização (ISO) a adotar a BS 5750 como uma norma padrão internacional. A BS 5750 tornou-se a ISO 9000. Surgindo então, o início de um novo passo para a qualidade com essa norma padrão (CAMPOS, 1992).

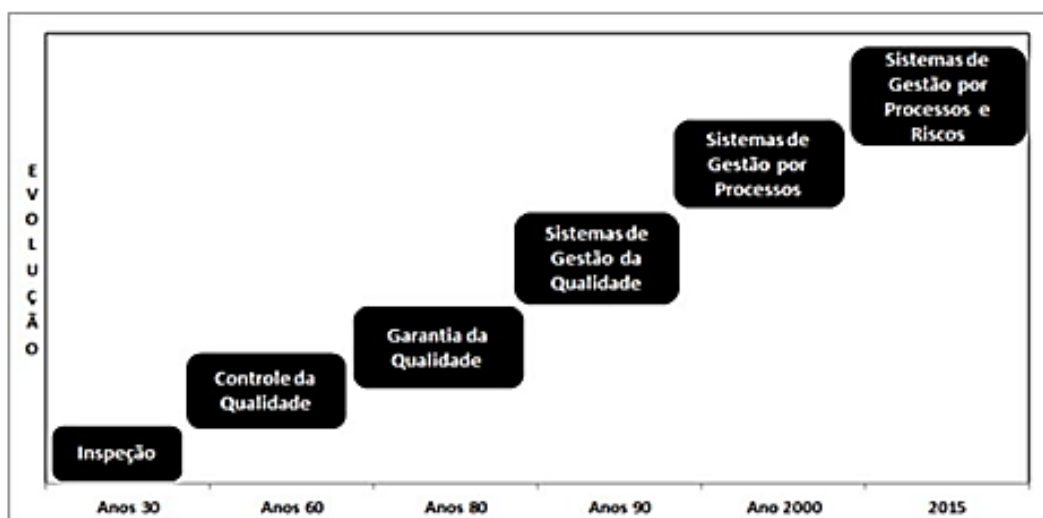
3.3.3 Evolução da norma Série ISO 9000

Durante este momento, a análise da evolução do conceito da qualidade passa a ter como enfoque as normas da série ISO 9000 (9000 a 9004), com isso é importante mencionar que a primeira organização para padronização internacional, a *International Federation of the National Standardizing Associations* (ISA), foi criada em 1926 e encerrou suas atividades em 1942 durante a Segunda Guerra Mundial (CHAVES; CAMPELLO, 2016). De acordo com Chaves e Campello (2016) antes da ISO várias outras normas foram criadas, dentre elas podem ser citadas:

1. Normas Militares Americanas - MIL STD - Padronização;
2. MILQ-9858 - Foi a primeira norma de especificações de Sistema da Qualidade;
3. MIL-I-45205 - requisitos de um sistema da qualidade;
4. AQAP (*Allied Quality Assurance*);
5. OTAN (Organização do Tratado do Atlântico Norte) garantia da qualidade;
6. DEF.STAN (Defense Standard) Reino Unido - normas das Forças Armadas sobre sistemas da qualidade;
7. BS-5750 (*British Standard*) - norma britânica para garantia da qualidade (*Quality Assurance*) de 1979.

ISO vem do grego isos, que significa igual. ISO significa *International Organization for Standardization*, ou seja, Organização Internacional de Padronização. É uma organização não governamental sediada em Genebra (Suíça) e fundada em 1947. Conta com 162 países membros e 3.368 comitês técnicos (TC - *Technical Committee*), sendo que a ISO 9000 é elaborada pelo comitê ISO/TC 176. Desde seu lançamento, em 1987, as normas da série ISO 9000 foram evoluindo em sua estrutura, requisitos e enfoque. As três normas certificáveis série ISO 9000:1987 tinham como grande enfoque a garantia da qualidade, tal qual a Britânica BS-5750. Em 1994 as três normas (9001, 9002 e 9003) continuam com o enfoque de garantia da qualidade, porém, amplia-se o conceito de Sistemas de Gestão da Qualidade (SGQ). Em 2000 a norma passa a ser ISO 9001, além do enfoque em sistema de gestão da qualidade, traz a gestão por processos, deixando explícito o uso do PDCA (*Plan, Do, Check, Act*), definindo os oito princípios da qualidade. A versão de 2008 não traz novidades significativas em relação à versão de 2000, o que decepcionou muitos profissionais ávidos por muitas alterações. Em 2015, finalmente chega a última versão ISO 9001:2015, desenvolvida sob a ótica do Anexo SL, de 2012, também conhecido como ISO *Draft Guide* 83 ou estrutura de alto nível, que define um padrão de requisitos normativos a serem utilizados para todas as normas ISO (CHAVES; CAMPELLO, 2016).

A ISO 9001:2015 era muito esperada e teve grande envolvimento mundial e com muitas novidades, dentre elas a gestão de riscos, novas terminologias, redução de oito para sete princípios da qualidade, entre outros. A Figura 16 mostra, de forma resumida, a evolução dos conceitos da qualidade ao longo dos séculos XX e XXI.

Figura 16 - Evolução da Qualidade

Fonte: CAMPOS (1992)

3.3.4 ASME IX

A seção IX da ASME estabelece os critérios básicos para soldagem e brasagem, nos quais devem ser observados na preparação para os requisitos de soldagem e brasagem.

O objetivo da Especificação do Procedimento de Soldagem (EPS) e do Registro da Qualificação do Procedimento (RQP), é determinar que a soldagem proposta para a construção seja capaz de alcançar as propriedades requeridas para a sua aplicação.

Os testes de qualificação do procedimento são realizados para determinar as propriedades da junta soldada ou brasada e não a capacidade de quem está efetuando os testes. Na qualificação do desempenho dos soldadores e operadores de equipamentos de brasagem o requerimento básico é determinar a habilidade da deposição do metal de solda sem defeitos, ou na execução de brasagens de boa qualidade. Na qualificação de desempenho de operadores de equipamentos de soldagens, o critério básico é determinar a habilidade mecânica do operador quanto ao manuseio do equipamento de soldagem.

Na preparação da seção IX, cada processo de soldagem e cada processo de brasagem nela incluídos, foram revisados com as variáveis que exercem influência

sobre as aplicações aos critérios para o procedimento ou desempenho. O usuário da seção IX deve ser informado sobre como a seção é organizada. A seção IX é dividida em duas partes: soldagem e brasagem e cada uma dessas partes são subdivididas em quatro Artigos que tratam das seguintes matérias:

- (a) Requisitos gerais: Artigo I (soldagem) e Artigo XI (brasagem);
- (b) Qualificações do procedimento. Artigo II (soldagem) Artigo XII (brasagem);
- (c) Qualificações do desempenho. Artigo III (soldagem) Artigo XIII (brasagem);
- (d) Dados. Artigo IV (soldagem) Artigo XIV (brasagem). (ASME seção IX,1980)

3.3.4.1 Qualificação dos procedimentos

Cada processo avaliado pela seção IX é relacionado separadamente com as variáveis essenciais e não essenciais do processo. Em geral a Especificação do Procedimento de Soldagem (EPS) e a Especificação do Procedimento de Brasagem (EPB) devem listar todas as variáveis essenciais e não essenciais para cada processo incluindo em uma especificação particular do procedimento.

Caso for introduzido alguma alteração em uma variável não essencial o procedimento necessita somente ser revisado ou corrigido para assinalar a mudança ocorrida. Quando a resistência ao impacto for requerida por algum código da construção as variáveis não essenciais tornam-se variáveis essenciais complementares e estas mudanças requerem a requalificação do procedimento.

Além desses aspectos e para abranger vários processos a ASME IX, 1980 também fornecem regras para qualificação dos procedimentos referentes aos revestimentos com metal de solda para endurecimento de superfícies.

3.3.4.2 Qualificação do Desempenho

Esses Artigos relacionam separadamente os vários processos de soldagem e brasagem, com as variáveis essenciais aplicáveis à qualificação de desempenho para cada processos. A qualificação de soldadores e operadores de equipamentos de brasagem são limitadas pelas variáveis essenciais. Em geral, a qualificação do operador de equipamento de soldagem é limitada somente pela variação de uma única variável essencial, ou seja, o processo de soldagem utilizado.

Os Artigos referentes a qualificação de desempenho possuem vários parágrafos que descrevem as variáveis geralmente aplicáveis a todos os processos. Os parágrafos QW-350 e QB-350 relacionam as variáveis adicionais aplicáveis à processos específicos. As variáveis relacionadas ao parágrafo QW-350 não se aplicam os operadores de processo de soldagem.

Um soldador ou um operador de equipamento de soldagem pode ser qualificado por testes mecânicos de dobramento, pela radiografia da solda inicial de produção (ASME seção IX, 1983).

Os Artigos referentes aos dados de soldagem e brasagem incluem variáveis agrupadas em categorias: juntas, materiais base e materiais de adição, soluções, pré-aquecimento, tratamento térmico após soldagem, gases, características elétricas e técnicas. Esses dados são referenciados por outros Artigos, conforme sejam aplicados a cada processo.

Esses Artigos são frequentemente utilizados de forma imprópria, através da seleção de variáveis não aplicados a um devido processo. As variáveis (QW-402 a QW-410 e QB-402 a QB-410) somente são aplicáveis conforme referenciadas no Artigos II ou Artigo III e também no Artigo XII e XIII, para o processo aplicável.

O usuário da Seção IX não deve tentar a aplicação de qualquer variável não referenciadas pelas tabelas particulares, para os processos incluídos nos parágrafos QW-250, QW350, QB-250 e QB-350.

Esses Artigos também incluem as designações de P-números e F-números para materiais base e materiais de adição. O Artigo IV também inclui as tabelas A-números para referências do fabricante.

As tabelas QW-451 e QB-451 fornecem os requisitos de espessura para a qualificação do desempenho; entretanto essas tabelas somente devem ser utilizadas quando forem referenciadas por outros parágrafos.

As revisões à Edição 1980 da Seção IX introduziram novas definições para as posições e acrescentaram um gráfico para as orientações das soldas em ângulos, a fim de complementar o gráfico para orientações das soldas em chanfro. A nova revisão para as posições indica que um soldador que se qualificar nas posições 1G, 2G, 3G etc. está qualificado para as posições plana, vertical, horizontal ou sobre cabeça, conforme for apropriado. A tabela QW-461.9 é uma tabela sumariza essas novas qualificações.

Os artigos sobre os dados de soldagem e de brasagem também apresentam gráficos de orientações dos materiais de teste, as retiradas dos corpos de prova e os dispositivos de teste. Esses gráficos são referenciados pelo Artigo I e XI.

O parágrafo QW-470 descreve os processos de ataques químicos e reagentes, o parágrafo QB-470 relaciona os H-números.

As partes finais dos Artigos IV e XIV apresentam definições gerais aplicáveis à Seção IX – Soldagem e Brasagem, respectivamente. Essas definições podem diferenciar ligeiramente das definições dadas em outros documentos de soldagem. Esses formulários são fornecidos como base e auxílio para os que não desejam elaborar seus próprios formulários. Podem ser usados quaisquer formulários que incluam todos os requisitos aplicáveis da Seção IX.

3.3.5 Ferramentas da Qualidade

De acordo com Lucinda (2010), o aumento na complexidade das atividades organizacionais trouxe como consequência um grau elevado de dificuldade em solucionar problemas. Atualmente os problemas exigem uma equipe multidisciplinar para a sua solução, já que uma pessoa por mais conhecimento e habilidade que possua, não irá resolver sozinho problemas mais complexos necessitando então da ajuda de uma equipe.

As ferramentas da qualidade entram em cena para potencializar as habilidades e competências dessas equipes, disponibilizando métodos e técnicas para identificação das possíveis causas e a descoberta de soluções para o problema.

Godoy (2009), identifica como as ferramentas da qualidade todos os processos utilizados na obtenção de melhorias e resultados positivos, permitindo uma melhor exploração de seus produtos no mercado competitivo.

Muitas dessas ferramentas constituem-se em instrumentos gráficos que buscam deixar evidentes a questão que se pretende analisar e solucionar (VERGUEIRO, 2002).

Lins (1993) citado por Vergueiro (2002) diferencia as ferramentas da qualidade em básicas e complementares, de modo que as básicas são instrumentos para auxiliar o profissional na análise dos problemas e as complementares servem como apoio a utilização das básicas.

Mezomo (1995) também citado por Vergueiro (2002), diferencia as ferramentas em estratégicas (administrativas) composta por instrumentos utilizados para gerar ideias, classificar fenômenos ou dados, estabelecer prioridades, investigar as causas e entender os processos envolvidos na produção ou serviço, e as estatísticas (quantitativas) que seriam as ferramentas utilizadas para medir o desempenho, expondo dados de diferentes formas a fim de evidenciar para a tomada da melhor decisão direcionada a melhoria da qualidade.

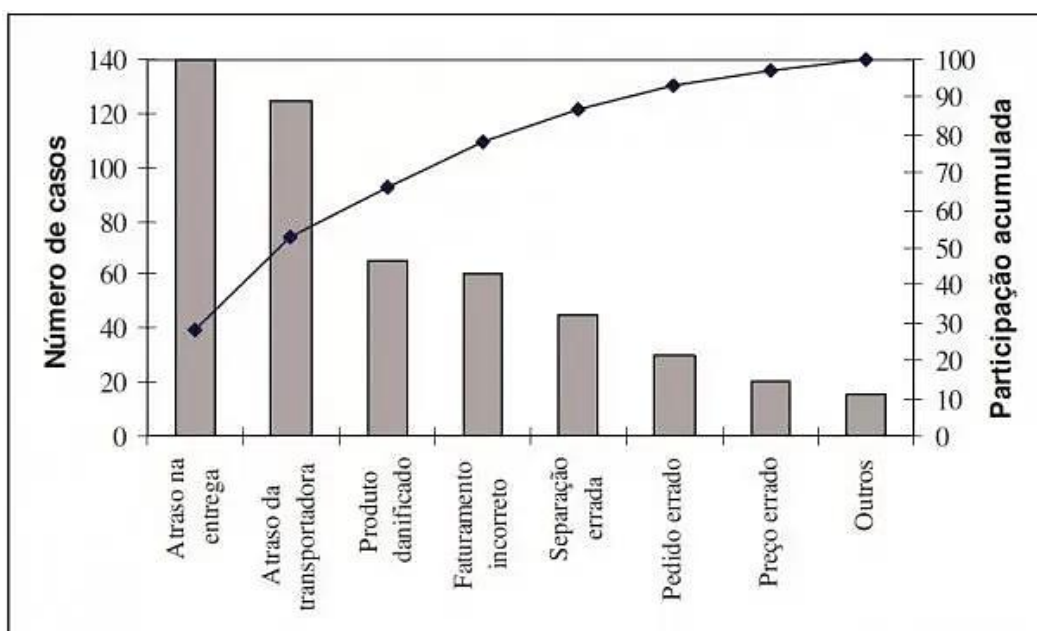
As ferramentas da qualidade estão relacionadas ao desenvolvimento, implementação, monitoramento e melhoria dos conceitos de qualidade. Os programas e as ferramentas da qualidade são importantes instrumentos para a gestão do sistema de qualidade para que atinjam níveis máximos de eficiência e eficácia (BAMFORD; GREATBANKS, 2005).

Entre as ferramentas da qualidade pode-se citar o Diagrama de Pareto, Diagrama de causa e efeito, Histograma, Diagrama de dispersão, Fluxograma, Gráfico de controle, Brainstorming e 5W1H (GIOCONDO, 2011).

3.3.5.1 Diagrama de Pareto

O diagrama de Pareto ou gráfico de Pareto foi criado no final do século XIX por Vilfredo Pareto um economista italiano que desenvolveu métodos através de estudos para descrever a distribuição desigual de riquezas. Ficando sua descrição conhecida como princípio de Pareto subestimando que algumas coisas são mais relevantes que as outras (GIOCONDO, 2011).

J.M Juran observou e adaptou o diagrama de Pareto para resolução dos problemas de qualidade (reclamações de cliente, itens defeituosos, falhas em máquinas e equipamentos, perda de produtividade, paradas de máquinas, atrasos em prazos de entrega, entre outras.) onde eram divididos em classes, de acordo com sua relevância “baixo impacto” e “alto impacto”. Assim demonstrando que grande parte dos problemas são gerados por pequenas causas e se essas causas fossem identificadas e corrigidas seria possível eliminar defeitos e falhas. O gráfico de Pareto é um diagrama que apresenta os itens e a classe na ordem dos números de ocorrências, apresentando a soma total acumulada (GIOCONDO, 2011). A Figura 17 mostra um exemplo de diagrama de Pareto.

Figura 17 – Exemplo de Gráfico de Pareto

Fonte: GIOCONDO, (2011).

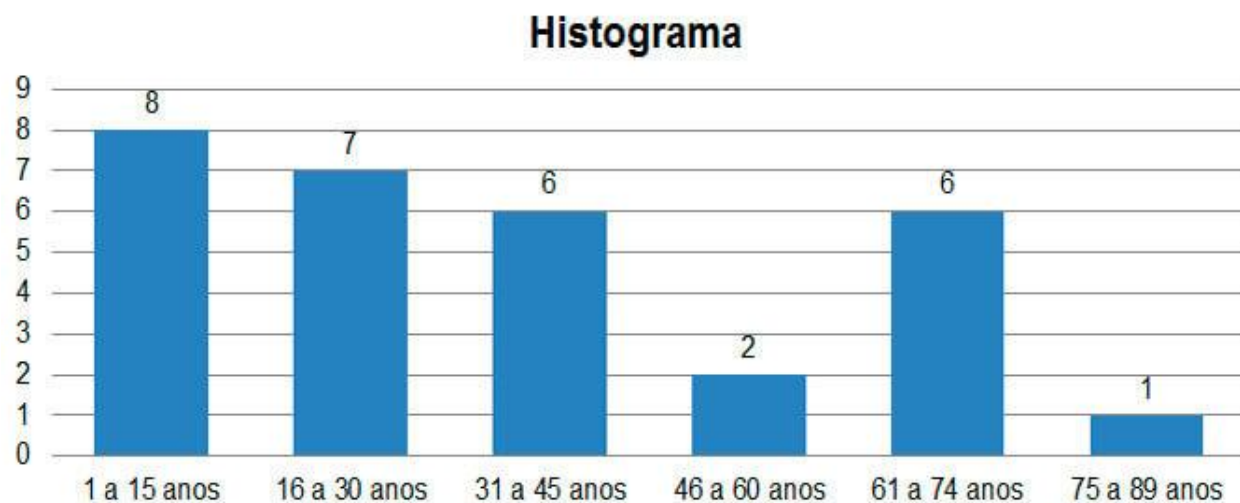
3.3.5.2 Histograma

De acordo com Cooper e Schindler (2001), é uma solução convencional para apresentar dados de intervalo e razão. O histograma é desenvolvido em forma de gráfico de barras, no qual mostra a variação sobre uma faixa específica, mostrando as características de processo envolvendo a medição dos dados além de permitir ter uma variação geral da variação desse conjunto desses dados.

Dizem que o histograma foi criado por Guerry em 1833 a fim de descrever suas análises sobre um crime, atualmente o histograma é utilizado em diversas áreas para descrever a frequência com que variam o processo, a forma com que variam os dados e para agrupar os valores das variáveis em intervalos (COOPER; SCHINDLER, 2001).

Assim pode ser utilizado para verificar o número de produtos não conformes, determinar o valor de dispersão das medidas em peças e processos que necessitam de ações corretivas, identificar e mostrar através de gráfico o número de unidades por categoria (CHAMON, 2008).

Segundo Chamon (2008) a interpretação de um histograma levará em consideração a forma de distribuição e a relação entre a distribuição e as especificações. Na Figura 18 podemos observar um exemplo de histograma.

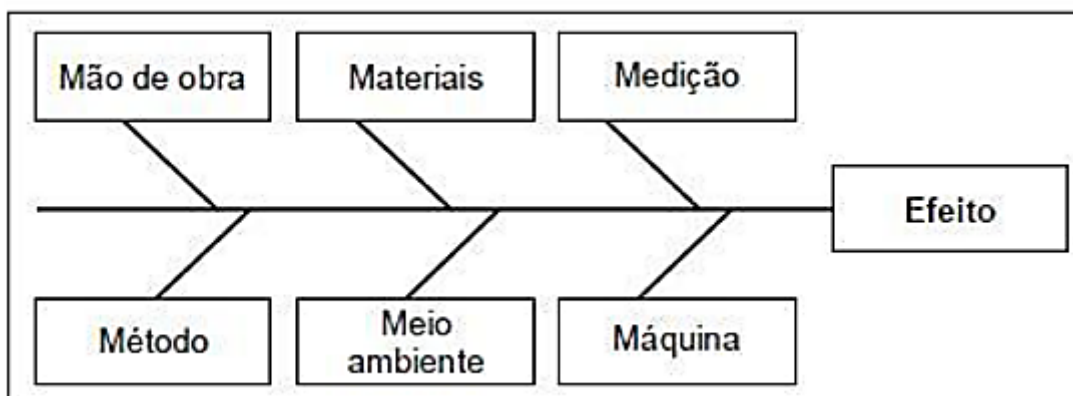
Figura 18 – Exemplo de Histograma

Fonte: AUTOR, 2021

3.3.5.3 Diagrama de Ishikawa

O diagrama de causa e efeito ou espinha de peixe ou diagrama de Ishikawa foi utilizado pela primeira vez em 1953 no Japão por Kaoru Ishikawa professor da universidade de Tóquio e uns dos gurus da qualidade, com o intuito de sintetizar as ideias dos engenheiros quando estes discutiam sobre problemas de qualidade e para explicar como fatores poderiam estar relacionados entre si.

Este ficou conhecido com diagrama de Ishikawa Figura 19 uma representação gráfica que permite organizar informações para identificar possíveis causas de um problema, mostrando a relação entre efeitos e as causas que podem estar contribuindo para que elas ocorram (GIOCONDO, 2011).

Figura 19 - Diagrama de Ishikawa

Fonte: Adaptado de GIOCONDO, (2011).

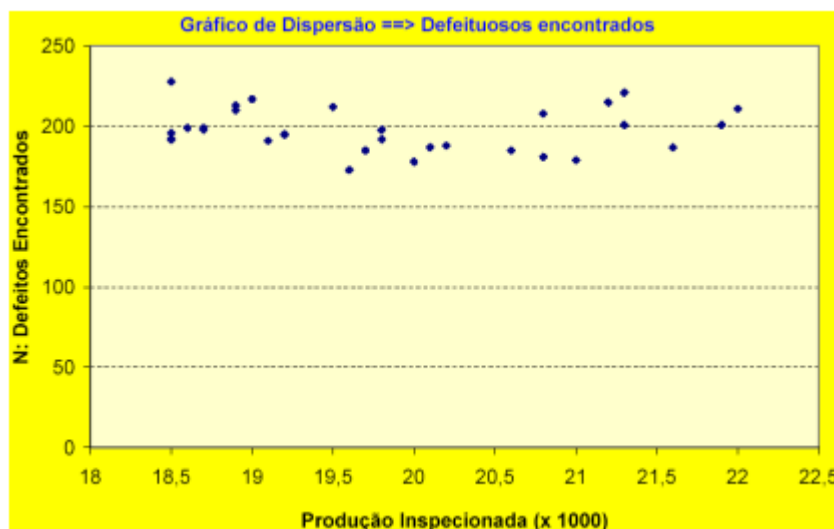
Observa-se que o diagrama por si não identifica as causas dos problemas, mas, ele organiza de forma eficaz a busca das causas, funcionando como um meio de potencializar o desenvolvimento de uma lista de possíveis causas que contribuam para o efeito (GIOCONDO, 2011).

Segundo Giocondo (2011), este diagrama normalmente é utilizado para visualizar em conjunto as causas principais e secundárias de um problema, ampliar as possíveis causas do problema, enriquecer sua análise e identificar as soluções, assim como analisar um processo em busca de melhorias.

3.3.5.4 Diagrama de dispersão

Segundo Slack, Chambers, Jonhston e Betts (2006) o diagrama de dispersão é normalmente utilizado para identificar a correlação e estabelecer associação entre dois fatores ou parâmetros. Porém afirmam que o diagrama apenas permite identificar a relação entre as variações, e não necessariamente a existência de um relacionamento de causa e efeito.

Neste diagrama é possível avaliar o relacionamento entre as variáveis de natureza quantitativa e a sua intensidade, a fim de verificar se as duas variações atuam em conjunto ou são independentes (COOPER; SHINDLER, 2001). A Figura 20 apresenta um exemplo de diagrama de dispersão.

Figura 20 - Diagrama de dispersão

Fonte: Adaptado de CHAMON, (2008).

Cooper e Shindler (2001) afirmam que os diagramas de dispersão são essenciais para compreender as relações entre as variáveis, pois fornecem meios para inspeção visual dos dados que uma lista de valores para as variáveis não podem fornecer.

3.3.5.5 Gráficos de controle

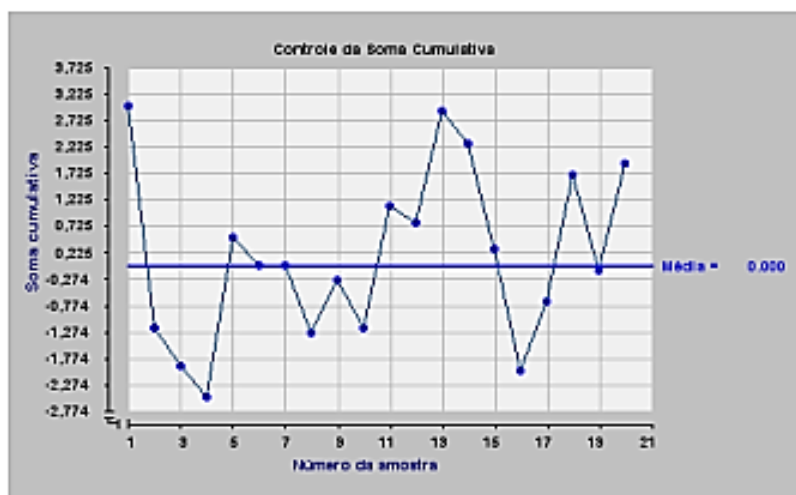
Werkema (2006) define os gráficos de controle como ferramentas para monitoramento e controle das variabilidades de um determinado processo, além de serem capazes de avaliar a estabilidade de um processo.

Os gráficos de controle podem ser utilizados para verificar se um processo está ou não sob controle ou conforme os limites estabelecidos, baseando em dados de amostragem. Após determinado período é possível verificar como o processo está se desenvolvendo, quando não se está dentro dos limites estabelecidos, sinaliza que há necessidade de procurar a causa da variação, mas não mostram como eliminá-las (GIOCONDO, 2011).

O primeiro gráfico de controle foi proposto em 1926, pelo engenheiro físico e estatístico americano Walter Shewhart, este gráfico mostra a variabilidade do

processo e permite em certas condições, informar se o processo está estável. Um exemplo de gráfico de controle pode ser visto na Figura 21 (GIOCONDO, 2011).

Figura 21 - Gráfico de controle



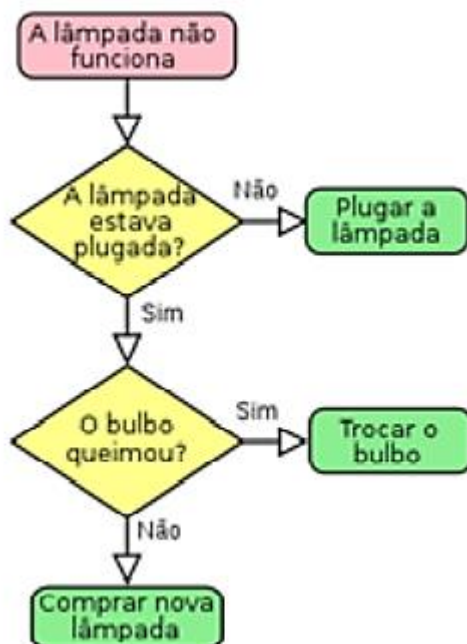
Fonte: Adaptado de LUCINDA, (2010).

3.3.5.6 Fluxograma

O fluxograma pode ser definido com um resumo ilustrativo do fluxo das várias operações do processo. Ele documenta um processo, mostrando todas as suas etapas e o que é realizado em cada uma delas, os materiais ou serviços que entram ou saem do processo, as decisões que devem ser tomadas e as pessoas envolvidas (cadeia cliente/fornecedor) (LUCINDA, 2010).

Lucinda (2010) ressalta que o fluxograma visto na Figura 22 é uma ótima ferramenta para analisar um processo, já que permite de forma rápida a compreensão das atividades que são desenvolvidas por todas as partes envolvidas. É uma ferramenta fundamental, tanto para o planejamento (desenvolvimento do processo) como para o aperfeiçoamento (análise crítica) do processo.

Figura 22 - Fluxograma



Fonte: Adaptado de GODOY, (2009).

3.3.5.7 Brainstorming

Brainstorming ou tempestade de ideias foi desenvolvido em 1938 pelo inglês Alex Osborn, quando era presidente de uma agência de propagandas. Meireles (2001) ressalta que este é um método para gerar ideias em grupo em um curto espaço de tempo com a interação de todos os integrantes do grupo a fim de obter soluções inovadoras e criativas para os problemas. Envolvendo todos os integrantes este método assegura a qualidade nas tomadas de decisões, o comprometimento e a responsabilidade compartilhada pelo grupo. Ele pode ser utilizado por qualquer pessoa da organização e em qualquer etapa do processo de soluções dos problemas, porém a aplicação deve ser conduzida por uma só pessoa para que se mantenha ordem durante o processo, como na seleção das questões a serem tratadas (MEIRELES, 2001).

No brainstorming é enfatizado a quantidade de ideias, não a sua qualidade, as críticas e avaliações nessa etapa devem ser evitadas, as ideias devem ser estimuladas e apresentadas sem maiores apresentações (MEIRELES, 2001).

3.3.5.8 5W1H

O 5W1H surge com ferramenta estratégica de qualidade total, principalmente na área de produção, onde há necessidade de estabelecer um plano de ação em um curto espaço de tempo quando algo não está saído como planejado. Esta ferramenta também já foi utilizada por diversos setores da organização, já que permite organizar um conjunto de ações planejadas de formas claras e objetiva. Para isso tem-se um plano de ação, onde através de um questionamento permite identificar e orientar as diversas ações a serem implementadas e os responsáveis por cada tarefa a ser executada.

Este plano deve ser estruturado de modo a permitir a identificação das etapas necessárias das ações. A sigla 5W1H em inglês significa:

- What – O que será feitos (etapas)
- Why – Por que deve ser executada a tarefa (justificativa)
- Where – Onde cada etapa será executada (local)
- When – Quando cada uma das tarefas será executada (tempo)
- Who – Quem realizará as tarefas (responsabilidade)
- How – Como deverá ser realizado cada tarefa/etapa (método)

Geralmente está ferramenta é utilizada em projetos de consultoria, gestão de qualidade, construção de planejamentos, determinado setor da organização ou organização como um todo (MEIRELES, 2001).

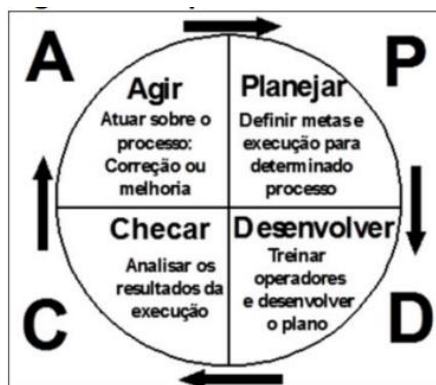
3.3.5.9 Ciclo PDCA

O ciclo PDCA foi idealizado por Shewhart, mas foi Deming quem aplicou de forma efetiva e divulgou. Assim este ciclo também ficou conhecido como Shewhart ou Deming (SEBRAE, 2005).

De acordo com SEBRAE (2005) este ciclo é uma ferramenta que facilita na tomada de decisões visando garantir o alcance das metas necessárias para a sobrevivência das organizações, embora simples, representa um avanço para o planejamento eficaz. O Ciclo é dividido em quatro passos conforme Figura 23.

- **P (Plan/Planejamento):** Etapa que envolve o levantamento de dados e fatos, elaboração do fluxo de processos, identificações dos itens de controle, elaboração de uma análise de causa e efeito e análise de dados para que se estabeleça objetivos.
- **D (Do/Execução):** Nesta etapa os procedimentos são colocados implementados, sendo necessário também que as pessoas envolvidas possuam conhecimentos básicos sobre o processo para executarem as atividades com eficiência ou que sejam treinadas para garantir que os resultados estabelecidos sejam alcançados.
- **C (Check/Verificação):** Nesta etapa são realizados os monitoramentos ou avaliações dos procedimentos para verificar se eles estão desenvolvidos conforme planejamento a fim de consolidar as informações para relatórios.
- **A (Act/Ação):** Aqui são executadas as ações para promover a melhoria contínua dos processos, ou seja, as correções necessárias que foram identificadas durante a etapa de verificação, desta forma voltam-se para o primeiro quadrante P, iniciando novamente o ciclo, tornando uma sistemática de melhoria.

Figura 23 - Ciclo PDCA



Fonte: Adaptado de MEIRELES, (2001).

3.4 Descontinuidade

Dá-se o nome descontinuidade a qualquer interrupção da estrutura típica do material, que represente falta de homogeneidade nas características mecânicas, metalúrgicas ou físicas da junta soldada (MODENESI, 2001).

As descontinuidades podem ser classificadas quanto à origem e a forma. Com relação à origem, as descontinuidades podem ser geométricas (operacionais) e metalúrgicas. Com relação à forma as descontinuidades podem ser planas e volumétricas. É interessante notar que as descontinuidades geométricas geralmente são planas, enquanto as descontinuidades metalúrgicas podem ser planas ou geométricas (MODENESI, 2001).

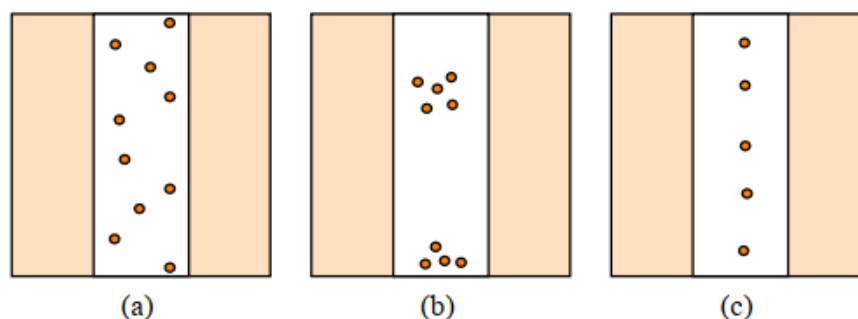
As descontinuidades podem ser classificadas quanto à origem e a forma. Com relação à origem, as descontinuidades podem ser geométricas (operacionais) e metalúrgicas. Com relação à forma as descontinuidades podem ser planas e volumétricas. É interessante notar que as descontinuidades geométricas geralmente são planas, enquanto as descontinuidades metalúrgicas podem ser planas ou geométricas (MODENESI, 2001).

Descontinuidades são identificadas por meio de ensaios não destrutivos após a soldagem. A seleção dos ensaios não destrutivos está relacionada aos aspectos das descontinuidades. Desta forma uma descontinuidade volumétrica pode ser mais bem detectada por um ensaio radiográfico, enquanto para uma descontinuidade plana tem a preferência ao ensaio ultrassônico. Descontinuidades que atingem um tamanho crítico que é determinado pela norma de inspeção, são consideradas defeitos e devem ser reparadas. As descontinuidades geométricas são formadas na etapa de montagem e de soldagem. Os exemplos mais comuns são falta de fusão, falta de penetração e mordedura, citam-se também desalinhamento, superposição, deposição insuficiente. Descontinuidades metalúrgicas são geradas por algum fenômeno metalúrgico presente na poça de fusão como, o refino, a desoxidação, a desgaseificação e as transformações de fase no estado sólido, essas tanto na zona fundida quanto na zona afetada pelo calor (MODENESI, 2001). As descontinuidades metalúrgicas mais comuns são a porosidade, a trinca de solidificação e a trinca a frio induzida por hidrogênio.

3.4.1 Porosidade

A porosidade equivale a poros de gás que podem ser encontrados na superfície ou no interior do cordão de solda solidificado, esses poros podem se diferenciar em tamanho e, são geralmente distribuídos numa forma aleatória. Entretanto, também é possível que a porosidade seja encontrada apenas no centro da solda (CARAN, 2004). Segundo (Modenesi, 2001) a porosidade é formada pelo aumento de gases na poça de fusão, durante a solidificação da solda. Frequentemente os poros têm um formato esférico, ainda que, poros alongados possam ser formados (porosidade vermiforme), geralmente associados com o hidrogênio. No que se refere à sua distribuição na solda, a porosidade pode ser dividida em: (a) uniforme distribuída, (b) agrupada (geralmente associadas com pontos de abertura ou suspensão do arco) e (c) alinhada (que ocorre normalmente no passe de raiz), a Figura 24 mostra os tipos de distribuição de porosidade

Figura 24 - Tipos de distribuição de porosidade



Fonte: MODENESI, (2001)

As causas mais comuns da porosidade são a contaminação atmosférica, excesso de oxidação nas superfícies das peças a serem soldadas, elementos de liga, desoxidantes inadequados no arame e a existência de sujeira. A contaminação atmosférica pode ser causada por: vazão de gás de proteção insuficiente; vazão de gás de proteção excessiva, que pode causar aspiração de ar para dentro do fluxo do gás de proteção; bocais obstruídos ou sistema de fornecimento de gás danificado (mangueiras e conexões com vazamentos etc.); correntes de ar excessivas na área

da soldagem, que podem arrastar o gás de proteção da região da poça de fusão (CARAN, 2004).

Os gases atmosféricos são os responsáveis pela porosidade no aço devido a grande quantidade presente de nitrogênio e oxigênio. Porém uma quantidade considerável de oxigênio pode ser tolerada sem formar porosidade na ausência do hidrogênio. Já no alumínio uma quantidade grande de oxigênio na atmosfera pode provocar problemas graves devido à grande formação de óxidos. Deve-se inspecionar a vazão do gás em períodos regulares, a fim de garantir que esteja livre de vazamentos. Complementarmente, a alta umidade presente na atmosfera pode gerar porosidade no aço e, particularmente no alumínio. Um cuidado especial deve ser tomado sob situações de climas úmidos. Como exemplo, as tochas que são resfriadas continuamente a água podem apresentar condensação ao longo de períodos de alta umidade e, como resultado contaminar o gás de proteção (Caran, 2004).

3.4.2 Mordeduras

Como está ilustrado na Figura 25, a mordedura é um defeito que aparece como um entalhe no metal de base ao longo das bordas do cordão de solda. É muito comum em juntas em ângulo sobrepostas, porém pode também ser encontrada em juntas de topo e em ângulo.

Figura 25 – Exemplos de mordeduras



Fonte: ÁQUILA, 2012

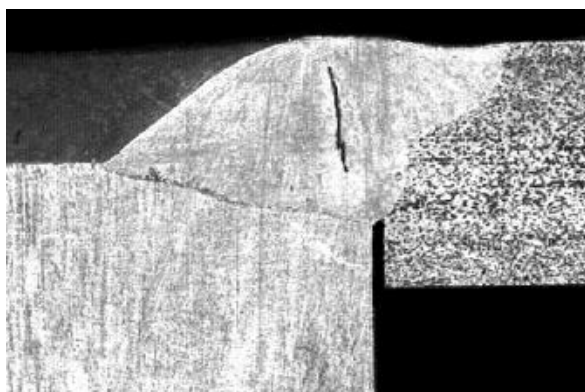
De acordo com (Modenesi, 2001) mordeduras são concavidades agudas geradas pela ação da fonte de calor do arco entre um passe de solda e o metal de base ou um outro passe vizinho. No momento em que é feita a última camada do

cordão, a mordedura causa uma diminuição da espessura da junta e age como um concentrador de tensões. No momento em que se forma no interior da solda, ela pode causar a formação de uma falta de fusão ou de inclusão de escória. Normalmente as mordeduras são causadas pela manipulação inadequada do eletrodo, comprimento excessivo do arco e por uma elevada corrente ou velocidade de soldagem. Este tipo de descontinuidade também é influenciado pelo tipo de consumível (eletrodo, fluxo ou gás de proteção) usado.

3.4.3 Trincas

Segundo Modenesi, (2001) trincas são tidas na maioria das vezes como as descontinuidades mais graves em uma junta soldada, pois causam um alto acúmulo de tensão. Trincas originam-se da atuação de tensões de tração (tensões transientes, residuais ou externas) sobre um material impossibilitado de suportar a estas tensões na maioria das vezes devido a algum problema de fragilização. Estas trincas conseguem se formar durante a soldagem, após a soldagem, em operações posteriores a soldagem ou no decorrer do uso do equipamento ou estrutura soldada. A Figura 26 mostra uma trinca no centro do cordão, que foi formada na solidificação do cordão de solda entre de uma chapa de aço baixo carbono de 9mm de espessura e um pino de aço SAE 1045. Ataque: Nital 10%.

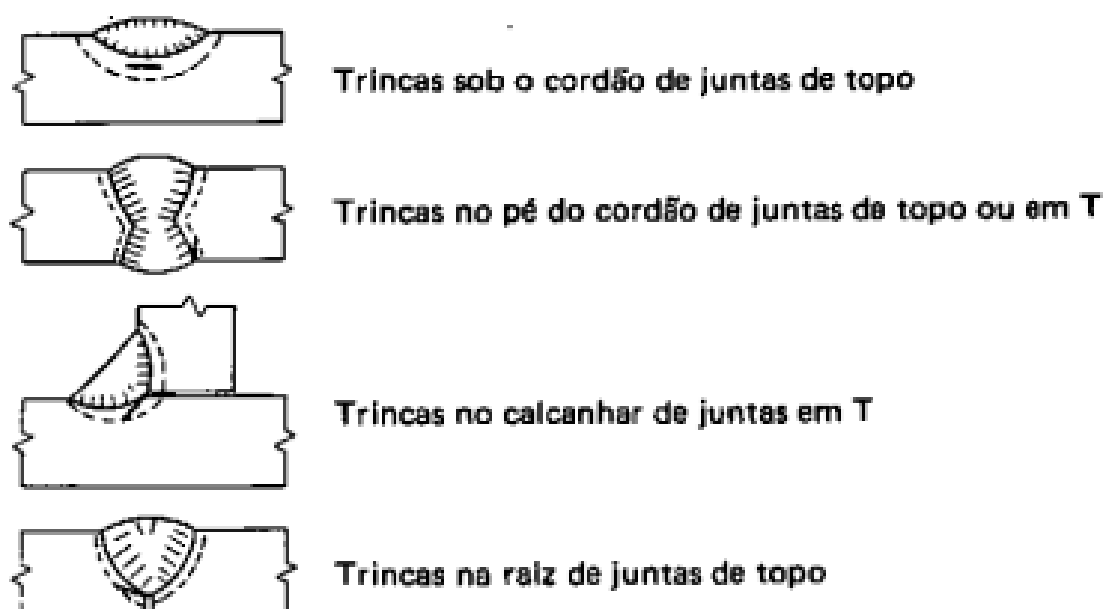
Figura 26 - Trinca no centro do cordão



Fonte: ÁQUILA, 2012

Segundo (Okumura e Tanigushi, 1982) as fraturas em uma junta soldada são classificadas de grosso modo em fraturas a frio e fraturas a quente. As que ocorrem a temperaturas inferiores a 330° são classificadas como fraturas a frio, essas fraturas ocorrem na zona termicamente afetada e no metal depositado. Estes são os principais tipos de trinca na zona termicamente afetada: trinca sob o cordão, trinca na raiz, trinca no pé da solda e trinca lamelar (delamelação). Trincas no metal depositado podem ser longitudinais ou transversais. A Figura 27 mostra alguns tipos específicos de trincas a frio.

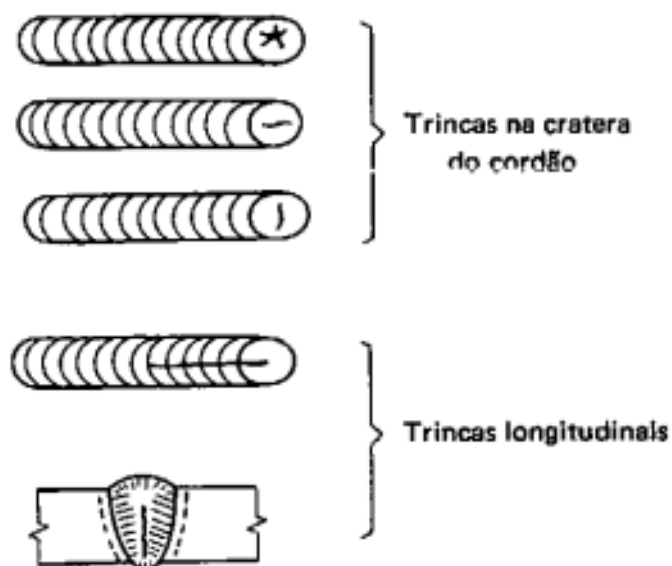
Figura 27 - Tipos de trincas a frio



Fonte: OKUMURA e TANIGUSHI, (1982)

Trincas a quente são marcadas em dois grupos. Em um grupo essas fraturas ocorrem no metal de solda ou na zona termicamente afetada a altas temperaturas acima de 900° no decorrer da solidificação da zona de solda, são elas: trincas na cratera, trincas em formato de pera, e trincas longitudinais, conforme Figura 28.

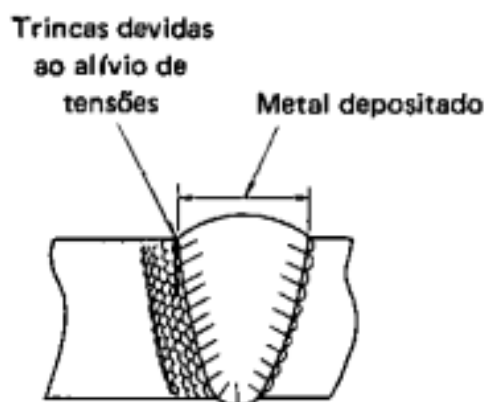
Figura 28 - Trincas a quente



Fonte: OKUMURA E TANIGUSHI, (1982)

Já no outro grupo estão as trincas devidas ao alívio de tensões, este tipo de trinca ocorre na zona termicamente afetada (ZTA), esse tipo de trinca ocorre quando um aço de baixa liga é soldado e depois reaquecido entre 500° e 700° C, como consequência de aliviar as tensões. Normalmente esse tipo de trinca tem origem no pé do cordão, no início da zona afetada pelo calor, conforme Figura 29.

Figura 29 - Trincas devidas ao alívio de tensões

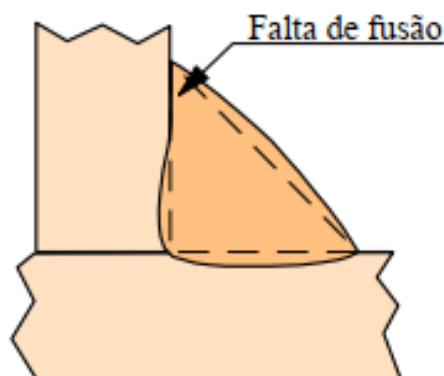


Fonte: OKUMURA E TANIGUSHI, (1982)

3.4.4 Falta de fusão

De acordo com Modenesi (2001), esse termo relaciona-se à falta de união por fusão entre passes vizinhos de solda ou entre o metal de solda e as superfícies do metal de base. Esse defeito pode ser observado na Figura 30. O motivo mais comum de falta fusão é uma técnica de soldagem deficiente, resultante de uma manipulação inadequada do eletrodo, o que ocasiona um aquecimento inadequado do material que está sendo soldado, a utilização de uma energia de soldagem muito baixa, da soldagem em chanfros muito apertados, ou propriamente pela falta de limpeza da junta. Esse tipo de descontinuidade é um grande gerador de tensões, sendo capaz de favorecer a iniciação de trincas, além de diminuir a seção efetiva da solda para resistir a esforços mecânicos.

Figura 30 - Falta de fusão em uma junta de topo



Fonte: MODENESI, (2001)

3.4.5 Falta de penetração

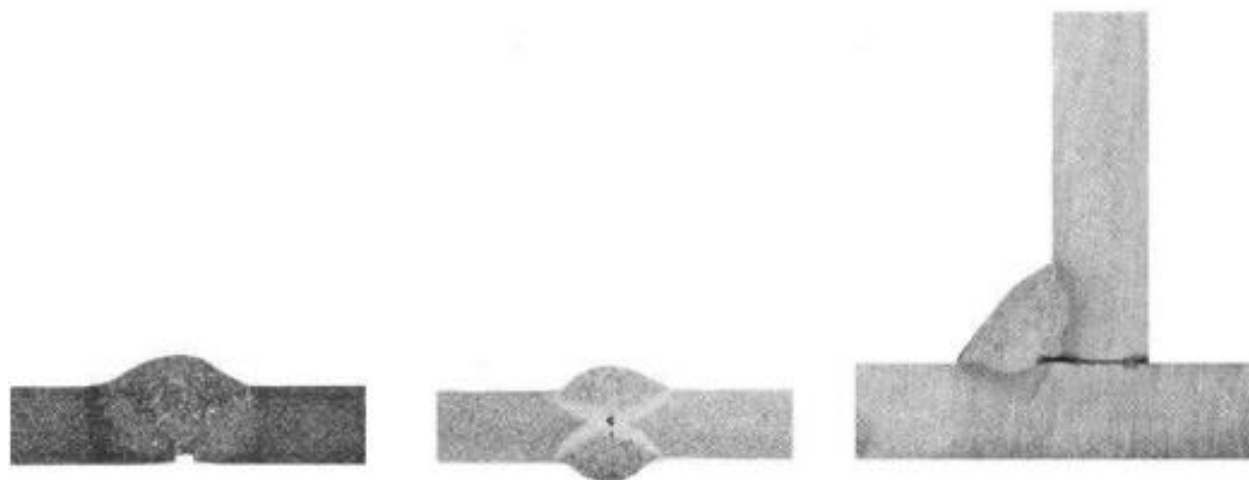
Falta de penetração refere-se à falha na fusão e enchimento completo da raiz da junta, vários fatores podem causar esse tipo de defeito, os de maior observância são: projeto inadequado da junta (ângulo de chanfro ou abertura da raiz pequenos); manipulação incorreta do eletrodo; a escolha de um eletrodo muito grande para um dado chanfro, alternativamente (em ambos os casos, torna-se difícil, ou impossível,

direcionar o arco para a raiz da junta) e o uso de uma baixa energia de soldagem. Falta de penetração causa a redução da seção útil da solda além de ser um concentrador de tensões (MODENESI, 2001).

É necessário destacar que, constantemente, juntas são especificadas a fim de ter penetração parcial. Nesses casos, a insuficiência de penetração, uma vez que mantida nos limites especificados não é tida como um defeito de soldagem (MODENESE, 2001).

Há três tipos de caso em que é encontrado esse tipo de defeito que são: quando o cordão de solda não penetrar totalmente na espessura do metal base; quando dois cordões de solda diferentes não se interpenetram e quando o cordão de solda não penetrar em uma junta de ângulo. A corrente de soldagem é o fator que tem maior consequência na penetração. Quando é usada uma corrente de soldagem muito baixa geralmente temos uma penetração incompleta podendo ser evitada com o simples aumento dessa corrente de soldagem. Outros fatores também podem ocasionar esse tipo de defeito como a aplicação de uma velocidade de soldagem muito baixa e um ângulo incorreto da tocha. Os dois permitirão que a poça de fusão passe na frente do arco, agindo como um amortecimento à penetração. Deve-se manter o arco na borda anterior à poça de fusão. Na Figura 31 é possível observar essa descontinuidade.

Figura 31 - Exemplos de falta de penetração



Fonte: ÁQUILA, 2012

3.4.6 Deposição insuficiente

De acordo com o estudo da literatura o termo deposição insuficiente significa falta de metal na face da solda.

3.4.7 Inclusão de escória

De acordo com Modenesi, (2001) inclusão de escória são partículas de óxido e outros sólidos não metálicos que ficam presos no meio da solda e o metal de base ou entre os passes de solda, conforme Figura 32.

A ocorrência de inclusão de escória é gerada devido à baixa solubilização de materiais no metal fundido e que tendem a flutuar na superfície da poça de fusão em razão da sua baixa densidade. Fragmentos da inclusão de escória podem ser gerados pelo manuseio errado do eletrodo durante a soldagem, o que permite que parte da escória passe à frente da poça de fusão, prendendo-a sobre o cordão. Em uma soldagem com vários passes, parte da escória que ficou depositada de um passe pode ser irregularmente removida e não se refundir no passe seguinte, permanecendo presa sob este passe. Muitas causas podem complicar a retirada da escória, como o uso de um chanfro muito fechado ou a formação de um cordão irregular. Inclusões de escória podem comportar-se como acumuladores de tensão contribuindo para o início de trincas. Estas trincas que são classificadas como um tipo descontinuidade surgem de forma alongada e são detectadas em radiografias.

Figura 32 - Inclusão de escória



Fonte: MODENESI, (2001)

3.4.8 Deformações

De acordo com o observado nas literaturas, quando se trabalha em um processo de soldagem por fusão de metais, podem ocorrer diversos problemas prejudiciais, por exemplo, deformações indesejáveis causadas por tensões residuais que acontecem durante o processo de resfriamento do metal fundido. Durante a soldagem as partes aquecidas tendem a se dilatar, porém no entorno da região de solda do material as partes menos aquecidas e o restante do material tendem a impedir essa dilatação, durante o resfriamento, as partes que foram aquecidas tendem a se contrair e, mais uma vez o que impede que esse fenômeno ocorra são as partes menos aquecidas. Por consequência dessas dilatações e reduções não uniformes, seja no metal de solda ou no metal de base, dá-se origem às tensões internas, podendo vir a causar o surgimento de deformações nessa região. Tensões residuais podem ser definidas como aquelas que se mantêm no material sem aplicação de forças externas ou gradientes de temperatura (RADAJ 2003, SORENSEN, 1999 e RIBEIRO 2006). Segundo Ribeiro as causas mais comuns que dão origem às tensões residuais são os processos de fabricação (fundição, soldagem, usinagem, tratamentos térmicos etc.), e praticamente todos eles introduzem tensões residuais no material fabricado. De acordo com (Okumura e Tanigushi, 1982) durante o processo de soldagem de metais, na região que é aplicada a soldagem o metal é aquecido no local e resfriado, devido aplicação de calor durante esta operação o material sofre expansão térmica e contrações e, devido as regiões adjacentes à solda estarem frias, são geradas tensões residuais de soldagem naquela região. De grosso modo as tensões residuais são divididas em dois grupos:

- tensões residuais devidas a vínculos internos: são tensões auto equilibradas geradas pelo aquecimento e resfriamento local de um componente estrutural não agarrado externamente;
- tensões residuais devido a vínculos externos: são tensões residuais geradas pela ação restritiva de vínculos externos.

Conforme os estudos da literatura, para entender quais os mecanismos que induzem o metal à deformação são importantes conhecer o comportamento de um material quando ele sofre aquecimento, com e sem restrições externas. As tensões

residuais ocorrem durante o resfriamento causando contração da junta após a soldagem. Na prática essas tensões residuais podem ser diminuídas com o controle do calor e diminuição do material depositado, é importante ressaltar que para cada caso é adotado um determinado cuidado. Em juntas de topo diminuindo-se o ângulo da junta e a abertura de raiz, a contração livre pode ser reduzida, reduzindo-se também as tensões de reação e as tensões residuais, auto equilibradas. Em soldas de filete a largura da perna da solda e o reforço devem ser os menores possíveis, também deve ser utilizada uma sequência de soldagem adequada para efeito de alívio de tensões, devidas aos vínculos no contorno.

O quanto cada material se dilata e contrai (ou tende a se dilatar) sob aquecimento depende do coeficiente de dilatação térmica, que é uma característica de cada material, a Tabela 2 mostra os valores de alguns materiais bastante utilizados.

Tabela 2 – Coeficiente de dilatação térmica

MATERIAL	COEFICIENTE DE DILATAÇÃO TÉRMICA (micro pol. / pol. / °F)
Aço-carbono	7
Aço inoxidável	10
Alumínio / ligas	12
Cobre / ligas	9

Fonte: SENAI-BA CIMATEC (2012)

De acordo com o observado nas literaturas, quando compreendemos o comportamento de um material metálico sob a ação do calor pode-se constatar as três principais causas de introdução de tensões internas movidas pelo calor, que são:

- tensões introduzidas pela ação volumétrica sob a ação do calor;
- tensões introduzidas por gradientes de temperatura em um mesmo material;
- tensões introduzidas por aquecimento em materiais com diferentes de dilatação térmica que estejam interligados.

É importante ressaltar que, uma infinidade de outras fontes podem introduzir tensões internas no caso dos materiais metálicos como citado anteriormente.

3.4.8.1 Distorções devidas à soldagem

De acordo com o observado na literatura no processo de união de metais, durante a soldagem a região do metal fundido recebe grande quantidade de calor que se propaga grandemente de forma não uniforme no interior dos materiais, durante a solidificação e o resfriamento do material fundido ocorrem deformações plásticas e variações volumétricas decorrentes de transformações que ocorrem em uma área bastante aquecida na região de solda, causando deformações e resultando em tensões na junta que corresponde a contração do metal depositado. Distorções devidas à soldagem são bastante complicadas e, existem vários fatores que levam a este tipo de distorção residual, estas estão divididas em dois grupos, um deles está relacionado ao calor da soldagem e os seguintes itens pertencem a este grupo:

Distorção residual relacionado ao calor da soldagem:

- insumo de calor (voltagem do arco, corrente de soldagem, velocidade de soldagem, diâmetro e tipo de eletrodo);
- processo de soldagem;
- temperatura de pré-aquecimento da chapa;
- espessura da chapa e geometria da junta;
- número de passes de solda e proporção de material removido na limpeza da raiz;

O outro grupo tem relação com o grau de restrição da junta soldada e estão classificados em:

- sequência de soldagem e deposição;
- forma, dimensão e distribuição dos elementos restritivos;

3.4.8.2 Principais tipos de distorções devidas à soldagem

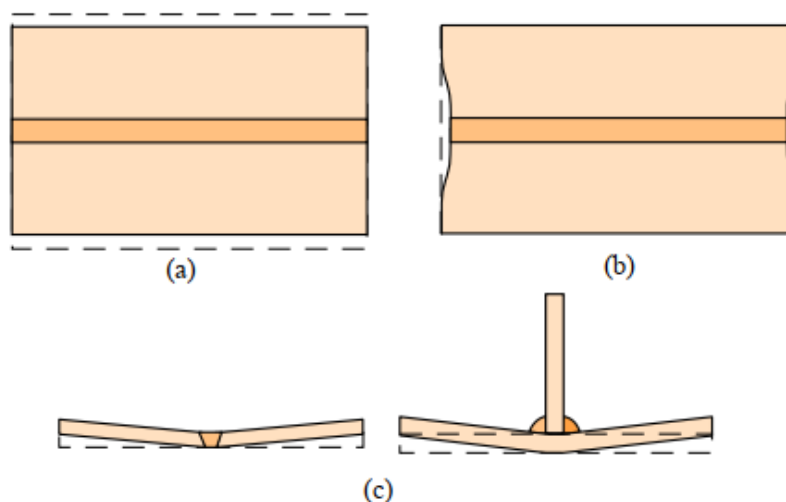
De acordo com MODENESI, (2001) distorções são mudanças de forma e dimensão que elementos soldados sofrem como resultado do movimento do material

(deformação plástica), que acontecem devido a tensões térmicas desenvolvidas durante o processo de soldagem. A distorção final de um componente soldado é sempre contrária e, em geral, da mesma ordem de amplitude do movimento de material que acontece durante a soldagem. A Figura 28 mostra três tipos de distorções básicas.

- (a) Contração transversal
- (b) Contração longitudinal
- (c) Distorção angular

Esses três tipos básicos de distorção podem ocorrer em juntas simples: (a) contração transversal (perpendicular à linha da solda), (b) contração longitudinal (paralela à linha da solda) e (c) distorção angular (rotação em torno da linha da solda). Porém estas distorções básicas provocam distorções mais complexas em juntas reais de solda, como, por exemplo, a torção de vigas e o dobramento.

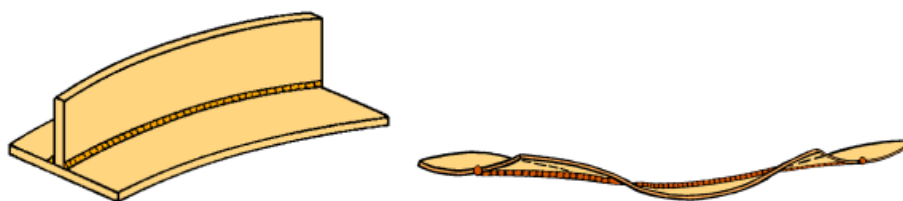
Figura 33 - Distorções básicas



Fonte: MODENESI, (2001)

Porém estas distorções básicas provocam distorções mais complexas em juntas reais de solda, como, por exemplo, a torção de vigas e o dobramento, também causam distorção por flambagem em juntas de peças de pequena espessura, conforme Figura 34.

Figura 34 - Distorção por flambagem em juntas de pequena espessura



Dobramento em uma viga T

Flambagem em chapas finas

Fonte: MODENESI, (2001)

De acordo com o estudo da literatura as contrações e distorções que aparecem durante o processo de soldagem podem ser classificadas como:

3.4.8.2.1 Contração transversal

Segundo MASUBUSHI, (1991) na contração transversal há uma diminuição do comprimento perpendicular ao eixo do cordão de solda e, quanto maior a seção transversal da zona fundida maior a contração e, é influenciada pelos seguintes fatores:

- diminui com o acréscimo do grau de restrição das peças durante a soldagem e resfriamento;
- aumenta com a extensão da curva de repartição térmica, ou seja, energia de soldagem, pré-aquecimento e número de passes;
- diminui com martelamento de soldas.

Para OKUMURA E TANIGUSHI, (1982) a contração transversal pode decorrer dos parâmetros de soldagem, depósito de material corrido sobre a chapa, espessura da chapa, velocidade de soldagem e corrente de soldagem.

3.4.8.2.2 Contração longitudinal

De acordo com o observado na literatura há uma diminuição do comprimento do cordão e, depende da relação entre a seção transversal da zona fundida e a seção

restante da peça, ocorre devido resistência do metal base adjacente, e está submetida aos mesmos fatores que influenciam na contração transversal, no entanto tende a ser menor, porém, podem causar sequelas importantes como o dobramento em peças soldadas fora de sua linha neutra e a distorção por flambagem em chapa fina.

3.4.8.2 Distorção angular

A distorção angular acontece quando a contração transversal não é uniforme ao longo da espessura da junta e pode ocorrer tanto em soldas de topo como em soldas de filete (MODENESI, 2001).

Esta é formada pela diferença de temperatura entre as faces inferior e superior da chapa, que provocam variações nos graus de contração no sentido de espessura da chapa, no caso de chapa fina a distorção angular é pequena e se aumenta a espessura da chapa também há um aumento nos níveis de distorção angular. Já no caso de chapas extremamente grossas a distorção angular será menor em razão da própria restrição imposta pelo metal-base.

São utilizados dois métodos para remoção e alívio das tensões residuais: o mecânico e o térmico. A Tabela 3 apresenta os métodos utilizados para reduzir ou aliviar as tensões residuais.

Tabela 3 - Procedimentos para reduzir ou aliviar as tensões residuais

	Procedimento	Descrição	Características	Limitações
(a)	Martelamento	Martelamento do metal depositado e de suas adjacências durante ou após a soldagem.	Método simples, pode causar refino de grão.	Inadequado para materiais de baixa ductilidade.
	Encruamento	A junta soldada é deformada plasticamente pela aplicação de cargas de tração.	Bastante eficiente para tanques esféricos e tubulações.	Inadequado para estruturas complicadas pela dificuldade de aplicar tensões uniformes.
	Vibração	Vibrações são aplicadas na estrutura causando uma ressonância de baixa frequência o que ocasiona deformação plástica parcial da estrutura e alívio de tensões.	Operação simples.	Inadequado para chapas grossas ou grandes estruturas. Alívio de tensões não é uniforme.
(b)	Recozimento para alívio de tensões	Aquecimento a 600-700°C (aços ferríticos) ou 900°C (aços austeníticos) seguido de resfriamento lento. Pode ser local ou total.	Muito utilizado e bastante eficiente.	Inaplicável para grandes estruturas e difícil de ser executado no campo. Custo elevado.
	Recozimento a alta temperatura	Aquecimento a 900-950°C (aços ferríticos) seguido de resfriamento lento. Pode ser local ou total.	Podem eliminar completamente as tensões residuais.	Inaplicável para grandes estruturas e difícil de ser executado no campo. Custo muito elevado.
	Alívio de tensões a baixas temperaturas	Aquecimento do local da solda a 150-200 °C em uma largura total de 60 a 130mm.	Adequado para grandes estruturas.	O alívio de tensões é baixo.

(a) Processos mecânicos

(b) Processos térmicos

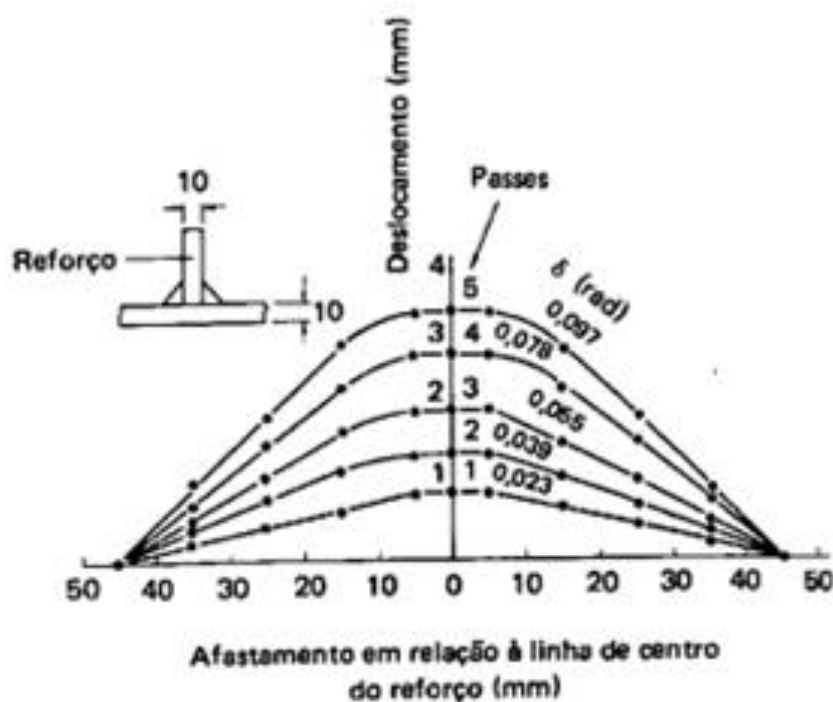
Fonte: OKUMURA E TANIGUSHI, (1982)

3.4.8.3 Distorção angular de juntas em T

O valor máximo da distorção angular em uma junta soldada em T é aproximadamente o dobro do que se observa para as chapas sobre as quais se deposita um cordão de solda. O efeito das condições de soldagem na distorção angular é bastante semelhante, em ambos os casos, (OKUMURA E TANIGUSHI,

1982). A Figura 35 mostra o efeito do número de passes na distorção de juntas em T com múltiplos passes.

Figura 35 - Efeito do número de passes na distorção de juntas em T com múltiplos passes.



Fonte: OKUMURA E TANIGUSHI, (1982)

De acordo com (Okumura e Tanigushi, 1982), nas juntas soldadas em T com vários passes o que irá causar maior distorção angular é o número de passes, desta forma se torna proporcional, quanto maior o número de passes maior a distorção angular.

No caso da soldagem de juntas livres a deformação ocorrerá no painel de forma poligonal. Se ocorrer o inverso, as juntas estiverem agarradas, as distorções desenvolvidas são do tipo em arco, conforme Figura 36.

Figura 36 - Tipos de deformação causada por distorção angular em dois tipos de estruturas soldadas em T.



Fonte: OKUMURA E TANIGUSHI, (1982)

A Tabela 4 mostra os efeitos das condições de soldagem na contração da junta.

Tabela 4 - Efeitos das condições de soldagem na contração da junta

<i>Item</i>	<i>Efeitos</i>
Abertura da raiz	Quanto maior a abertura, maior o grau de contração
Geometria da junta	A contração de Chanfros em V é maior que os em X; os chanfros assimétricos em X também se contraem mais que os simétricos
Diâmetro do eletrodo	Quanto maior o diâmetro do eletrodo, menor o grau de contração
Manipulação do eletrodo	A deposição por tecimento diminui a contração
Grau de restrição	Alto grau de restrição diminui o grau de contração
Tipo de revestimento	O efeito não é significativo
Martelamento	A contração é reduzida com o martelamento
Goivagem da raiz	A goivagem em si não causa contração; a soldagem do passe final também aumenta o grau de contração, da mesma forma que no passe de raiz; no caso de goivagem a chama, em lugar da talhadeira, a contração é provocada pelo calor do maçarico na execução da goivagem
Soldagem por arco submerso	A contração transversal é muito pequena, da ordem de 1/3 da obtida com eletrodo revestido (caso em que as bordas são paralelas e, portanto, o metal depositado na junta é cerca de 1/3 do total depositado pelo processo de soldagem manual)

Fonte: OKUMURA E TANIGUSHI, (1982)

De acordo com (AWS, 1987) durante a soldagem as forças de contração e dilatação atuam no metal base e na zona fundida. No momento em que o metal de adição é depositado e se funde com o metal base, ele se encontra no estado de expansão máximo. Durante o resfriamento o metal de solda se tende a se contrair

para o volume que abrange as temperaturas mais baixas, mas como ele está ligado ao metal de base a sua contração fica restringida.

Nas juntas soldadas as forças de contração e dilatação agem no metal de base e na zona fundida. Quando o metal de adição é depositado e se funde com o metal base, ele encontra-se no seu estado de expansão máximo. No resfriamento, o metal de solda tende a se contrair para o volume que abrangeria as temperaturas mais baixas, como ele está ligado ao metal de base a sua contração fica restringida (AWS, 1987).

3.4.8.4 Controle das Distorções

Segundo (Radaj, 2003) tanto as distorções quanto as tensões residuais são problemas considerados deficiência de qualidade. Para (Okumura e Tanigushi, 1982), as distorções que são ocasionadas pela soldagem, além de diminuir a precisão e a aparência externa, também afetam a resistência dos elementos estruturais. A correção de distorções exige uma demanda tempo e mão de obra, gerando custos indesejados. Logo, é desejável que se adote mecanismos para a prevenção de distorções devidas à soldagem antes de sua execução.

De acordo com (Modenesi, 2001) para que haja um bom controle das distorções, várias ações podem ser tomadas, inclusive em conjunto, a fim de eliminá-las com melhor eficiência.

3.4.8.4.1 Controle de distorções no projeto de estruturas soldadas

- Projetar estruturas com a menor quantidade possível de solda;
- Usar chanfros que demandem de menos metal e adição;
- Usar chanfros simétricos (X,K, duplo U, etc);
- Posicionar soldas junto da linha neutra da peça ou em posições simétricas junto da linha neutra;
- Especificar a menor dimensão possível das soldas compatível com as solicitações existentes.

3.4.8.4.2 Controle de distorções na fabricação

- Estimar a distorção que ocorrerá na estrutura e posicionar as peças de maneira a compensar esta distorção. (Difícil de aplicar em estruturas complexas);
- Posicionar peças na posição correta utilizando dispositivos de fixação e técnicas para minimizar a distorção (pontear antes da soldagem, gabaritos etc.);
- Usar sequência de deposição de cordões de solda (deposição por partes, uso de mais de um soldador iniciando a operação no mesmo ponto e soldando em direções opostas), e de montagem (montagem de subcomponentes etc.) que minimizem a distorção.

3.4.8.4 Controle de distorções após a soldagem (correção da distorção)

Remoção a quente

- Aquecimento localizado
- Aquecimento uniforme e pressão mecânica

Remoção a frio

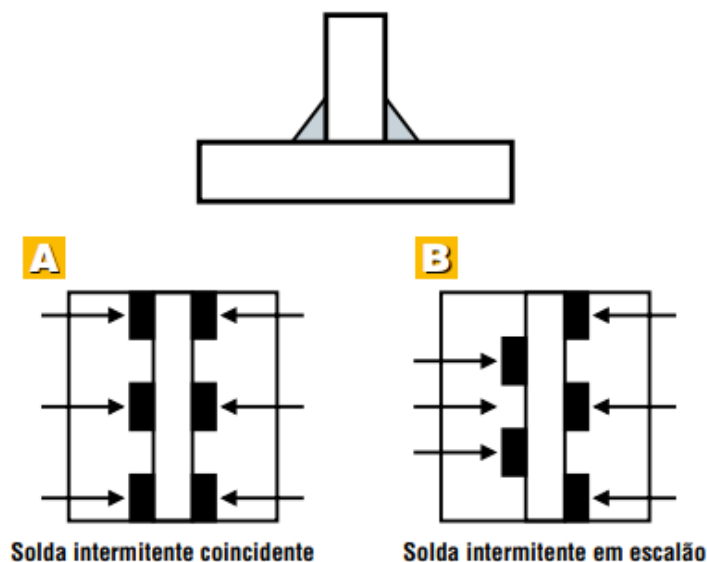
- Calandragem
- Prensagem
- Martelamento etc.

De acordo com Okumura e Tanigushi, (1982) devem ser empregados os seguintes cuidados na soldagem:

- Ao diminuir a quantidade de material depositado há uma diminuição na contração da junta, diminuir o comprimento do cordão de solda, escolher um formato de chanfro apropriado, deve haver um aumento de precisão no corte, na fabricação e na montagem.
- Selecionar uma sequência apropriada de soldagem. Através do uso de uma sequência simétrica de soldagem as distorções podem ser reduzidas, proporcionando um insumo menor de calor. Sequências alternadas são adequadas para se prevenir distorção rotacional e reduzir a contração longitudinal de uma junta soldada, a Figura 31 mostra um raciocínio de esquema de soldagem em juntas T como forma de diminuir

as distorções, a sequência de soldagem se aplica a soldas intermitentes coincidentes ou em escalão.

Figura 37 - Solda intermitente e solda intermitente em escalão



Fonte: SENAI-BA CIMATEC (2012)

3.5 A ferramenta FMEA

O FMEA é um método de análise utilizado para garantir que falhas potenciais sejam identificadas e avaliadas durante o desenvolvimento de produtos e processos (APQP – Planejamento Avançado da Qualidade do Produto), onde seu resultado mais evidente é a documentação de conhecimento comum das equipes multifuncionais. Parte da avaliação e análise é uma estimativa dos riscos do processo. O ponto crucial é que seja realizada um debate com relação ao projeto (produto ou processo), à revisão das funções e de quaisquer alterações na aplicação, e aos possíveis riscos de falhas potenciais (MANUAL DE REFERÊNCIA FMEA 4ª EDIÇÃO, 2008).

Segundo o Manual de Referência FMEA 4ª Edição (2008), FMEA também pode ser aplicado às áreas de não manufatura. Ele pode ser utilizado para analisar riscos em um processo de administração, ou para avaliar um sistema de segurança.

De modo geral, o FMEA é aplicado a falhas potenciais, nos processos e fabricação de produtos, quando seus benefícios são claros e potencialmente

significativos. Um fator muito importante para a implementação bem-sucedida de um programa FMEA é a oportunidade de melhorias. Ele é idealizado para tomada de ação “antes-do-evento” e não “após-o-fato”. Para ser mais significativo o FMEA deve ser feito antes da implementação de um produto ou processo no qual possa tender a falhar. As ações decorrentes de um FMEA podem reduzir ou eliminar a chance de se implementar uma alteração que criaria um problema ainda maior. A princípio, o processo de FMEA de Projeto deveria ser iniciado nas primeiras etapas do projeto, e o processo de FMEA de Processo antes de serem desenvolvidos e adquiridos o ferramental ou o equipamento de fabricação.

De acordo com Helman e Andery (1995), FMEA é um método de análise de projetos (de produtos ou processos, industriais e/ou administrativos) usado para identificar todos os possíveis modos potenciais de falha e determinar o efeito de cada uma sobre o desempenho do sistema (produto ou processo), mediante um raciocínio basicamente dedutivo. Sendo assim é um método analítico padronizado para detectar e eliminar problemas potenciais de forma sistemática e completa. Como seu desenvolvimento é formalmente documentado, permite:

- Padronizar procedimentos;
- Fazer um registro histórico de análise de falhas, que posteriormente poderá ser usado em outras revisões de produtos ou processos, e para tomada de ações corretivas em produtos similares;
- Selecionar e priorizar Projetos de melhoria (modificações no projeto) que deverão ser conduzidos. Uma vez completo, o FMEA torna-se uma referência para análise de outros produtos ou processos similares. Isso ajuda a diminuir os custos do trabalho, uma vez que serão amortizados na análise de vários produtos.

3.5.1 Histórico da ferramenta FMEA

A metodologia de Análise do Modo e Efeito da Falha, conhecida pela sigla FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*), onde teve seus primeiros registros com o conceito de utilização em 1949, onde os militares americanos criaram a ferramenta em busca de determinar o efeito da ocorrência de falha em seus sistemas e equipamentos. A primeira aplicação formal ocorreu na década de 60, pela indústria aeroespacial dos EUA, no projeto Apollo da agência norte-americana NASA (*National*

Aeronautics and Space Administration) onde foi relatado por Fernandes e Rebelato (2006), eles desenvolveram um método para identificar, sistematicamente, falhas potenciais em seus processos pela definição de suas causas e efeitos e, com isso, propor ações para reduzir ou eliminar o risco associado a essas falhas. De acordo com *Society of Automotive Engineers* (2001), no fim dos anos 1960 e início dos anos 1970, várias equipes profissionais começaram a publicar procedimentos para implementação do FMEA, entre elas se destacam:

- MIL STD 1629, publicado em 1974 com o título “Procedimentos para Identificar um Modo de Falha, Efeitos e Análise de Criticidade” (*Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*).

- SAE ARP 926, publicado em 1967 com o título “Procedimento de Análise de Faltas e Falhas” (*Fault / Failure Analysis Procedure*);

Em 1980, o FMEA começa a se tornar uma referência para desenvolvimento de processos, primeiramente na indústria aeroespacial. Já 1988 a Ford Motor Company divulgou o manual de instruções de FMEA de Projeto (Design FMEA) e Processo (Process FMEA) que aplica a metodologia para desenvolvimento de produtos, e para desenvolvimento de processos de manufatura, (*SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS*, 2001).

Silva e Antonietti (2003) argumentam que a indústria automotiva desenvolveu normas para seus fornecedores buscando a garantia da qualidade de seus produtos. Desta forma padronizar em um único sistema os requisitos de qualidade a serem aplicados na cadeia de fornecedores, as montadoras americanas General Motors Corporation, Chrysler Corporation e Ford Motor Company criaram em 1994 a Norma QS-9000. Com ela foram desenvolvidos os chamados Programas Avançados de Planejamento da Qualidade em Projetos e Processos (APQP) onde, dentre outras metodologias, foi incorporada o FMEA com algumas modificações, a princípio nas definições dos critérios de pontuação. Atualmente, os sistemas de qualidade das empresas brasileiras do setor automotivo passaram a seguir as especificação técnica da ISO/TS 16949:2002 que foi desenvolvida seguindo as exigências do antigo sistema QS 9000. Segundo Pollock (2005), o FMEA deve ser aplicado para executar a avaliação de risco procurando entender quais serão os impactos no cliente se alguma função do processo tiver falhas. A equipe deve fazer uma avaliação da ação para minimizar os riscos dos processos e orientar as atividades de melhoria.

3.5.2 Tipos de FMEA existentes

Existem dois tipos básicos de FMEA: de projeto (*Design FMEA = DFMEA*) e de processo (*Process FMEA = PFMEA*). Este último, ao qual é dado foco durante o trabalho, pode ser usado tanto no desenvolvimento do projeto do produto quanto do processo. Portanto, as análises de PFMEA para o Instituto de Qualidade Automotiva (IQA), são subdivididas em dois tipos:

- FMEA de Produto: considera as falhas que poderão ocorrer com o produto dentro das especificações do projeto. O objetivo desta análise é evitar falhas no produto ou no processo, decorrentes do projeto. É normalmente chamada FMEA de projeto.

- FMEA de Processo: considera as falhas no planejamento e execução do processo, ou seja, o ímpeto desta análise é evitar falhas no processo, tendo como sua base as não conformidades do produto com as especificações do projeto.

Existe ainda um terceiro tipo, menos comum, que é o FMEA de procedimentos administrativos, onde são verificadas as falhas potenciais de cada etapa do processo com o mesmo objetivo que as análises anteriores, ou seja, diminuir os riscos de falha (SANTOS, 2009).

Sendo mais objetivo, o FMEA de Processo é um resumo dos pensamentos da equipe durante o desenvolvimento de um processo e inclui a análise de itens que poderiam falhar baseados na experiência e nos problemas passados. Esta abordagem sistemática acompanha, formaliza e documenta a linha de pensamento que é normalmente percorrida durante o processo de planejamento da manufatura (POSSO, 2007). De acordo com Posso (2007), o FMEA de processo é utilizado para avaliar falhas em processos antes da sua liberação para produção em grande escala, mas deve ser revisado durante toda a vida útil do produto, por isso dizemos que o FMEA é um documento vivo. Ele foca nas falhas potenciais do processo em relação ao cumprimento dos seus objetivos definidos para cada uma de suas características e proporcionalmente ligada à capacidade do processo em cumprir os objetivos definidos para ele. O FMEA de processo define se há necessidade de alterações no processo, estabelece prioridades de ações de melhoria, auxilia na execução do controle do processo e na análise dos seus processos de manufatura e montagem.

O FMEA de processo, para o Manual de Referência FMEA 4ª Edição (2008), apoia o desenvolvimento do processo de fabricação, na redução dos riscos de falha, por:

- Identificar e avaliar as funções e requisitos do processo;
- Identificar e avaliar os potenciais modos de falha relacionados a produto e processo, e os efeitos das falhas potenciais sobre o processo e os clientes;
- Identificar as causas potenciais dos processos de fabricação ou montagem;
- Identificar e analisar variáveis nos controles do processo, para redução de ocorrência, ou maior detecção das condições de falha;
- Estabelecer prioridades, para ações e controles preventivos / corretivos.

3.5.3 Metodologia do FMEA

Sendo FMEA de produto ou de processo, o modo de aplicação da metodologia é o mesmo, tanto para produtos/processos novos quanto para produtos já correntes. É reunida uma equipe multifuncional responsável pelo desenvolvimento do produto/processo para identificar suas funções, os tipos de falhas que poderão ocorrer, os efeitos e as possíveis causas desta falha. Em seguida são avaliados os riscos e efeitos de cada modo de falha através de índices e, e em cima desta avaliação, são definidas ações para diminuir estes riscos, aumentando assim a confiabilidade do produto/processo (SANTOS, 2009).

Fernandes (2005), menciona que o método FMEA traz uma sequência lógica e sistemática de avaliar as formas possíveis pelas quais um sistema ou processo está mais sujeito às falhas. O FMEA avalia a severidade das falhas, a forma como elas podem ocorrer e, caso ocorram, como ocasionalmente poderiam ser detectadas antes de virarem reclamações no cliente. Desta forma, com base nestes três quesitos: severidade, ocorrência e detecção, o método FMEA leva a um Número de Prioridade de Risco (NPR) indicando quais os modos de falha levam a um maior risco ao cliente.

Helman e Andery (1995), falam que o estudo das falhas por meio do FMEA não se reduz somente pelo preenchimento de um formulário, mas sua descrição servirá como um roteiro para a explicação sobre como se utiliza o método.

Para o Manual de Referência FMEA 4ª Edição (2008), o desenvolvimento de FMEA, seja ele de projeto ou de processo, utiliza uma abordagem comum para se tratar de:

- Falha potencial do produto ou do processo, em atender às expectativas;
- Consequências potenciais;
- Causas potenciais do modo de falha;
- Aplicação dos controles atuais;
- Nível de risco;
- Redução de risco.

Antes que o documento FMEA seja iniciado, a equipe deverá definir o escopo do projeto e buscar as informações existentes que serão necessárias para efetivo e eficiente processo de desenvolvimento do FMEA.

3.5.4 Procedimento para elaboração de um FMEA

Algumas etapas podem ser seguidas para a elaboração de uma FMEA. Helman e Andery (1995), aconselham a elaboração de um fluxograma com as etapas estabelecidas:

- Definir a equipe responsável pela execução;
- Definir os itens do sistema que serão considerados;
- Preparação prévia (coleta de dados);
- Análise preliminar;
- Identificação dos tipos de falha e seus efeitos;
- Identificação das causas das falhas;
- Identificação dos controles atuais;
- Análise das falhas para determinação dos índices;
- Análise das recomendações; - Revisão dos procedimentos;
- Preenchimento dos formulários da FMEA;
- Reflexão sobre o processo.

Segundo Posso (2007), os passos fundamentais para a execução da FMEA são:

- a) Identificar modos de falha conhecidos e potenciais;
- b) Identificar os efeitos de cada modo de falha e a sua respectiva severidade;
- c) Identificar as causas possíveis para cada modo de falha e a probabilidade de ocorrência de falhas relacionadas a cada causa;
- d) Identificar o meio de detecção no caso da ocorrência do modo de falha e sua respectiva probabilidade de detecção;

e) Avaliar o potencial de risco de cada modo de falha e definir medidas de eliminação ou redução do risco de falha.

Conforme o Manual de Referência FMEA 4ª Edição (2008), não existe um processo uniforme ou único para o desenvolvimento de um FMEA, porém existem alguns elementos comuns como:

- Identificar a equipe;
- Definir o escopo; - Definir o cliente;
- Identificar funções, requisitos e especificações;
- Identificar modos de falha potencial;
- Identificar efeitos potenciais; - Identificar causas potenciais;
- Identificar controles;
- Identificar e avaliar risco (severidade, ocorrência, detecção);
- Ações recomendadas e resultados.

3.5.5 Formulário de um FMEA

Existem vários tipos de formulários para a criação de um FMEA e eles variam de acordo com a exigência ou necessidade do cliente. O Manual de Referência FMEA 4ª Edição (2008), apresenta diversos exemplos de formulários que poderão ser utilizados para o preenchimento dos dados levantados pela equipe de análise.

3.5.6 Definições dos elementos que compõe um FMEA

Para uma melhor entendimento dos elementos que compõem um FMEA, serão apresentadas a seguir os itens e as definições das principais colunas presentes num formulário de FMEA necessários para sua elaboração. Os elementos abordados serão os seguintes: Etapa do Processo / Função do Processo / Requisitos, Modo de Falha Potencial, Efeito Potencial de Falha, Classificação, Causa e Mecanismo Potencial de Falha, Índice de Severidade, Índice de Ocorrência, Índice de Detecção, Controles do Processo (prevenção / detecção), Número de Prioridade de Risco (NPR), termos estes fundamentais para a elaboração do FMEA.

3.5.6.1 Etapa do processo/Função do processo/Requisito do processo

Etapa do Processo corresponde à identificação da operação ou etapa que está sendo analisada, com base no processo e terminologia de numeração. O esquema de numeração do processo, o sequenciamento e a terminologia utilizada, deverão os mesmos utilizados no fluxograma do processo, para garantir a rastreabilidade com outros documentos. Função do Processo descreve o propósito ou objetivo da operação, ele lista as funções que correspondem a cada etapa do processo ou operação que está sendo analisada. Transforma-se em requisito se a Etapa do Processo e Função do Processo forem separadas. Requisitos são as entradas para o processo especificado para atender ao objetivo do projeto e a outros requisitos do cliente. Se existirem vários requisitos com relação a uma determinada operação, cada um deverá ser alinhado no formulário, com seus respectivos modos de falha associados, para facilitar a análise (MANUAL DE REFERÊNCIA FMEA 4ª EDIÇÃO, 2008).

A seguir a Tabela 5 traz exemplos dos três elementos definidos anteriormente Etapa do Processo, Função do Processo e Requisito:

Tabela 5 – Exemplos de Etapa do processo/Função do Processo/Requisito do processo

Etapa do processo	Função do Processo	Requisito do processo
Operação 10	Pontear suportes 1 e 2 na base	Pontear suporte conforme instrução de trabalho
Operação 20	Soldar suporte e 1 e 2	Realizar cordões de solda conforme especificado na instrução de trabalho
Operação 30	Calibrar perpendicular	Atender perpendicular de 1mm conforme desenho
Operação 40	Inspecionar perpendicular e cordões de solda	Altura dos cordões de solda conforme especificado em desenho. Perpendicular de 1mm

Fonte: AUTORES (2021)

3.5.6.2 Modo de Falha Potencial

Modo de Falha Potencial é definido como a maneira na qual o processo poderia potencialmente falhar em atender aos requisitos do processo. Na elaboração do FMEA deverão ser listados os Modos de Falha Potencial para a operação particular, em termos de requisitos de processo. Define-se que a falha poderia ocorrer, mas pode não ocorrer necessariamente. Modos de Falha Potencial devem ser descritos em termos técnicos. Se os requisitos estão bem definidos, então o Modo de Falha Potencial provavelmente será identificado, pela determinação da condição em que um requisito específico não seja atendido (MANUAL DE REFERÊNCIA FMEA 4ª EDIÇÃO, 2008). De acordo com Helman e Andery (1995), “Modos de Falha” são os eventos que levam associados a eles uma diminuição parcial ou total da função do produto e de suas metas de desempenho. Para uma melhor compreensão do elemento Modo de Falha Potencial, na Tabela 6 alguns exemplos práticos deste elemento serão mostrados:

Tabela 6 - Exemplo de modo de falha potencial

Modo de Falha Potencial
Suporte invertido
Altura do cordão de solda menor que o especificado
Porosidade
Perpendicular fora do especificado

Fonte: AUTORES (2021)

3.5.6.3 Efeito potencial da falha

Efeito Potencial de Falha é compreendido pelas formas como os modos de falha afetam o desempenho do processo, do ponto de vista do cliente. É o que o cliente observa (HELMAN E ANDERY,1995). Efeitos Potenciais de Falha são definidos como os efeitos do modo de falha sobre a função, como percebidos pelo(s) cliente(s). Os efeitos da falha deveriam ser descritos em termos de aquilo que o

cliente poderia notar ou experimentar, lembrando que o cliente pode ser um cliente externo ou interno, assim como o usuário final. O(s) cliente(s), neste contexto, pode(m) ser a próxima operação, operações ou localidades subsequentes, o vendedor e/ou o proprietário de veículo. Para o usuário final, os efeitos deveriam ser estabelecidos em termos de desempenho de produto ou sistema. Se o cliente for a próxima operação, ou operações / localidades subsequentes, os efeitos deveriam ser estabelecidos em termos de desempenho de processo / operação (MANUAL DE REFERÊNCIA FMEA 4ª EDIÇÃO, 2008).

A Tabela 7 a seguir traz exemplos de Efeito Potencial de Falha baseados nos modos de falhas mencionados na tabela anterior.

Tabela 7 - Exemplo efeito potencial da falha

Modo de Falha Potencial	Efeito potencial de falha
Suporte invertido	Impossibilidade de montagem no cliente
Altura do cordão de solda menor que o especificado	Rompimento do cordão de solda durante a utilização no cliente final
Porosidade	Aparência visual degradada
Perpendicular fora do especificado	Impossibilidade de montagem no cliente

Fonte: AUTORES (2021)

3.5.6.4 Classificação

Nesta coluna destaca-se os modos de falha de alta prioridade ou causas que requerem uma avaliação mais criteriosa ou quaisquer características especiais de produto ou de processo (por exemplo, crítica, chave, maior, significativa) para componentes, subsistemas, ou sistemas que possam requerer controles de processo adicionais. Alguns requisitos específicos do cliente podem identificar símbolos para características especiais de produto ou processo, e sua utilização (MANUAL DE REFERÊNCIA FMEA 4ª EDIÇÃO, 2008).

3.5.6.5 Causa e mecanismo potencial da falha

Causa Potencial de Falha é definida como uma indicação de como uma falha poderia ocorrer, ela é descrita em termos de algo que possa ser corrigido ou possa ser controlado. Causa Potencial de Falha pode ser uma indicação de uma fragilidade de projeto ou de processo, cuja consequência é o Modo de Falha (MANUAL DE REFERÊNCIA FMEA 4ª EDIÇÃO, 2008). Conforme Helman e Andery (1995), Causas de Falha são eventos que provocam o aparecimento do tipo (modo) de falha. As Causas das Falhas devem ser descritas de tal forma que possam ser definidas ações preventivas ou corretivas. Exemplo mostrado a seguir na tabela 8.

Tabela 8 - Exemplo causa e mecanismo potencial da falha

Modo de Falha Potencial	Causa e mecanismo potencial da falha
Suporte invertido	Posição do suporte não descrito na instrução de trabalho
Altura do cordão de solda menor que o especificado	Parâmetros e regulagens da máquina incorretos
Porosidade	Parâmetros e regulagens da máquina incorretos
Perpendicular fora do especificado	Peça não calibrada após operação de soldagem

Fonte: AUTORES (2021)

3.5.6.6 Índice de severidade

Severidade ou gravidade conforme mencionado por Helman e Andery (1995), é o índice que reflete a gravidade do efeito da falha sobre o cliente, assumindo que o tipo de falha ocorra. A atribuição do índice de gravidade deve ser feita olhando para o efeito da falha, e avaliando o quanto ele pode afetar o cliente. Uma falha poderá ter vários índices de gravidade de acordo quantos forem os seus efeitos. Se o cliente

afetado pelo modo de falha é uma empresa montadora ou o usuário do produto, a avaliação de severidade pode estar fora do campo de experiência ou conhecimento dos engenheiros / equipe do processo e, portanto o engenheiro de projeto, e/ou subsequente fabricante da peça ou montadora (engenheiro de processo) devem ser consultados (MANUAL DE REFERÊNCIA FMEA 2ª EDIÇÃO, 2008). Na tabela 9 é mostrado exemplo de pontuação de Severidade.

Tabela 9 – Índice de severidade

Índice	Severidade	Critério
1	Mínima	O cliente mal percebe que a falha ocorre
2	Pequena	Ligeira deterioração no desempenho com leve descontentamento do cliente
3		
4		
5	Moderada	Deterioração significativa no desempenho de um sistema com descontentamento do cliente
6		
7		
8	Alta	Sistema deixa de funcionar e grande descontentamento do cliente
9		
10	Muito Alta	Idem ao anterior porém afeta a segurança

Fonte: SILVA, 2007

3.6.7.8 Índice de Ocorrência

Segundo Helman e Andery índice de ocorrência é uma estimativa das probabilidades combinadas de ocorrência de uma causa de falha, e dela resultam o tipo de falha no produto / processo. A atribuição de um índice de ocorrência dependerá do momento em que se está conduzindo a FMEA. Por ocasião do projeto do produto ou processo, não se dispõe de dados estatísticos, uma vez que o produto ou processo ainda não exista, a análise baseia-se então em:

- Dados estatísticos ou relatórios de falhas de componentes ou processos similares;
- Dados obtidos de fornecedores;
- Dados da literatura técnica. Caso a FMEA estiver passando por uma revisão do projeto do produto ou processo, então poderão ser utilizados:
 - Relatórios de falhas (internos ou de Assistência Técnica Autorizada);
 - Históricos de manutenção, quando for o caso;

- Gráficos de controle; - Outros dados obtidos do controle estatístico do processo;
- Dados obtidos de fornecedores;
- Dados obtidos da literatura técnica. Ver exemplo de pontuação de Ocorrência na Tabela 10.

Tabela 10 - Índice de ocorrência

Classificação	Ocorrência	Critérios
1	Mínima	Falha improvável ou não considerada
2	Baixa	1 em 1.000.000
3		1 em 100.000
4	Moderada	1 em 10.000
5		1 em 2.000
6		1 em 500
7	Alta	1 em 100
8		1 em 50
9	Muito Alta	1 em 20
10		1 em 10

Fonte: ADAPTADO MANUAL DE REFERÊNCIA FMEA 2ª EDIÇÃO (2008)

Tabela 11 apresenta pontuação de detecção.

Tabela 11 - Pontuação de detecção

Classificação	Ocorrência	Critérios
1	Multa alta	Certamente será detectada
2	Alta	Quase certo ser detectada
3		Grande probabilidade de ser detectada
4	Moderada	Boa probabilidade
5		Média probabilidade

6		Pequena probabilidade
7	Baixa	Muito pequena
8		probabilidade Remota possibilidade
9	Rara	Quase impossível
10		Impossível ser detectada

Fonte: ADAPTADO MANUAL DE REFERÊNCIA FMEA 2ª EDIÇÃO (2008)

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O método de pesquisa utilizado no trabalho é o estudo de caso. Utiliza-se esse método, quando se deseja saber como e porque um fenômeno ocorre. De acordo com Yin (2001), a definição de estudo de caso é: Uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos (YIN, 2001). Foi feita uma investigação sobre algumas práticas de controle da qualidade para fabricação de conjuntos soldadas aplicados na indústria de Autopeças para máquinas agrícolas (colheitadeiras, tratores, escavadeiras). No estudo de caso são apresentadas análises estatísticas dos dados de qualidade para soldagem semiautomática GMAW. A Tabela apresenta as etapas metodológicas utilizadas no estudo de caso.

Tabela 12 - Etapas Metodológicas

ETAPAS METODOLÓGICAS		
ETAPA 1	Coleta dos possíveis modos de falhas no processo de soldagem	Coleta de dados realizado através da ferramenta Brainstorming utilizando uma equipe multifuncional
ETAPA 2	Coleta das possíveis causas dos modos de falha identificados	Coleta de dados realizado através da ferramenta Diagrama de causa e efeito utilizando uma equipe multifuncional
ETAPA 3	Levantamento dos modos de falhas encontrados no processo durante um período determinado	Através de uma folha de verificação foi feito um levantamento dos modos de falhas que foram identificados durante um período de

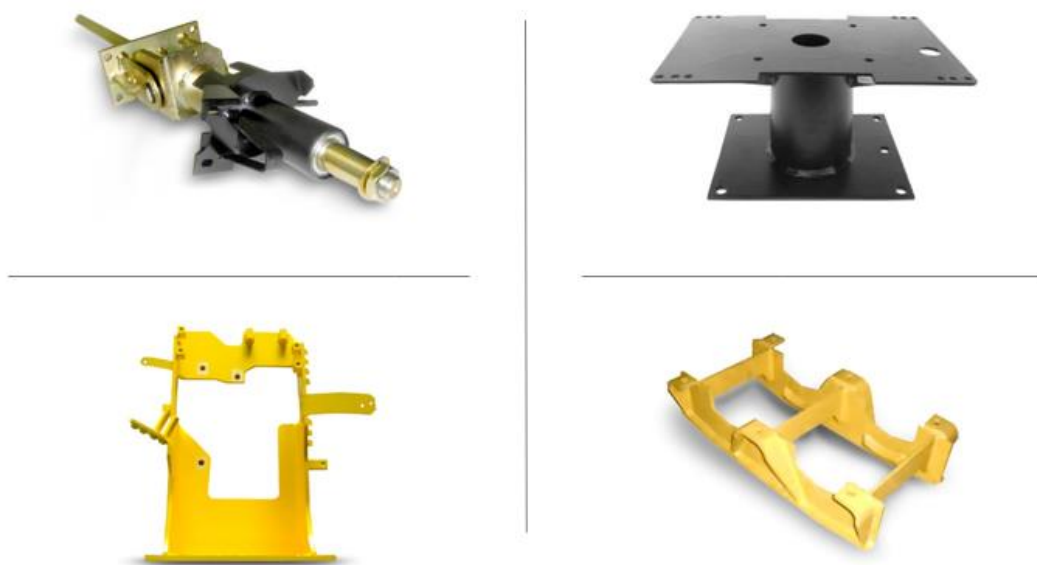
		trabalho
ETAPA 4	Identificação dos modos de falhas que devem ser tratados	Com os dados obtidos na folha de verificação foi feito um gráfico de Pareto identificando os principais modos de falhas a serem tratados
ETAPA 5	Definição das ações que devem ser tomadas para os modos apontados pelo gráfico de Pareto	Através da ferramenta 5W1H foram definidas as ações para tratar os modos de falhas
ETAPA 6	Construção do FMEA	Através dos dados obtidos

Fonte: AUTORES (2021)

4.1 A Empresa

A empresa onde foi aplicado o estudo está localizada na cidade de Mogi das Cruzes – SP. Esta empresa fabrica conjuntos soldados para máquinas agrícolas para diversas montadoras, ela conta com aproximadamente 350 funcionários distribuídos em setores de soldagem, estampagem, usinagem e setores administrativos, o estudo de caso utilizado neste trabalho foi aplicado no setor de soldagem e contou com a participação de colaboradores da engenharia, qualidade e produção. A Figura 38 apresenta algumas das peças fabricadas por esta indústria.

Figura 38 - Peças fabricadas pela empresa estudada



Fonte: AUTORES (2021)

4.2 Ferramentas para o controle de qualidade e análise de falhas

O uso de ferramentas estatísticas nas empresas está associado à visão de que ao identificar e remover as causas dos problemas se obtém maior qualidade e produtividade. A isso acrescentado que o uso de técnicas gráficas e específicas produz melhores resultados do que os processos de análise não estruturados. As sete ferramentas básicas da qualidade servem para organizar, interpretar e maximizar a eficiência no uso de dados numéricos. Basicamente quando se trata de dados do tipo numérico, necessita-se do estabelecimento de procedimentos organizados de coleta. Outro fator importante é o tratamento e a análise dos dados relativos aos processos e produtos de uma organização assim como sua apresentação. Para o nosso trabalho serão utilizadas as seguintes ferramentas:

- Brainstorming
- Diagrama de causa e efeito
- Carta de controle
- Gráfico de Pareto
- 5W1H

4.3 Processo de Soldagem

O processo de soldagem utilizado na empresa em questão é o processo de soldagem semiautomático GMAW aplicado na soldagem de peças fabricadas em aço carbono, a geometria do cordão de solda e dos chanfros das juntas são estabelecidas pelo cliente podendo ser modificado somente com autorização do mesmo através de desvios de qualidade ou solicitações de alterações de projetos nas quais nem sempre são aprovadas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

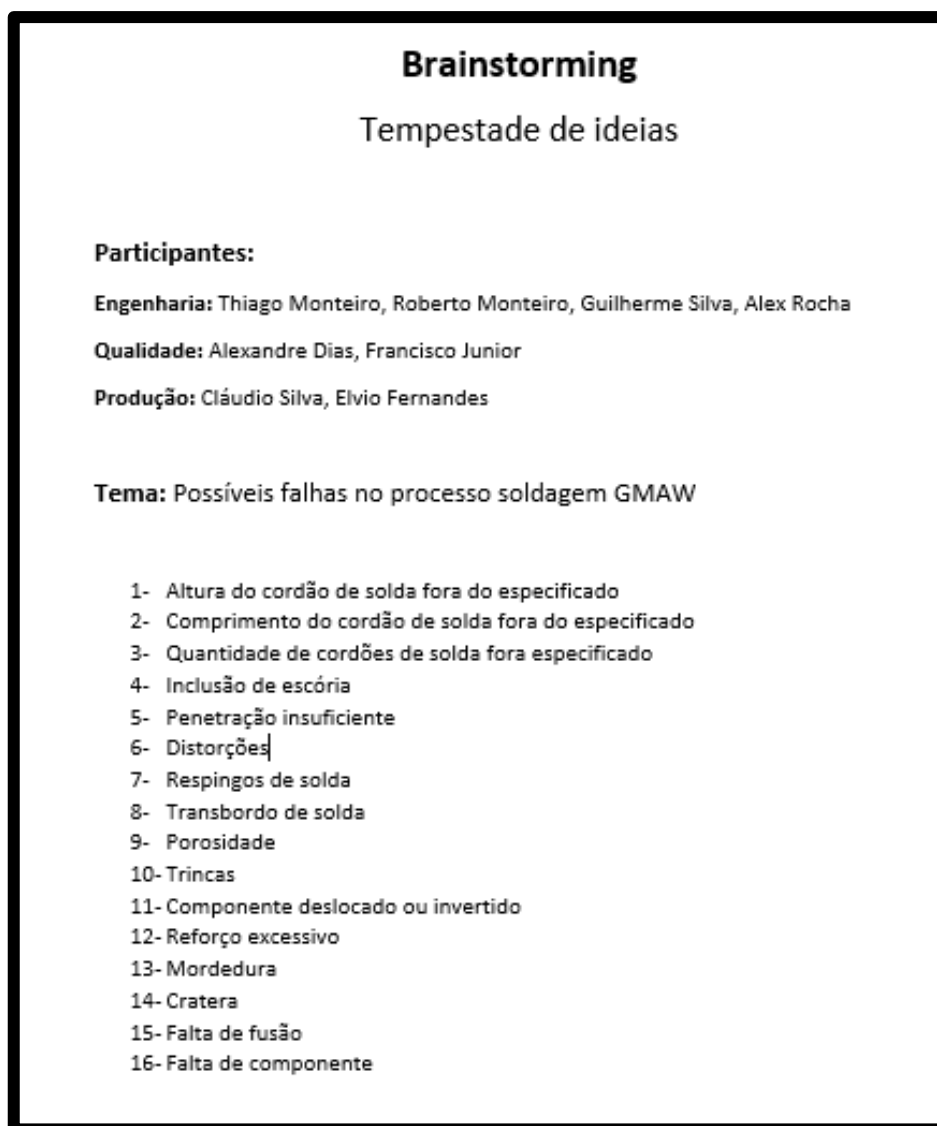
O objetivo deste estudo foi mostrar como é feito a implementação da ferramenta FMEA no processo de soldagem GMAW e mostrar o quanto ela é útil e importante para a prevenção de falhas durante o processo de soldagem, as análises e dados encontrados serão apresentados nos tópicos subsequentes.

5.1 Etapa 1 Coleta dos possíveis modos de falha

Os dados obtidos foram através de uma reunião organizada na empresa com colaboradores envolvidos no processo de soldagem, nesta reunião foi utilizada uma das sete ferramentas da qualidade o Brainstorming, o tema utilizado foi possível

falhas no processo de soldagem GMAW os modos de falhas levantados serão demonstrados na Figura 39.

Figura 39 - Tempestade de ideias



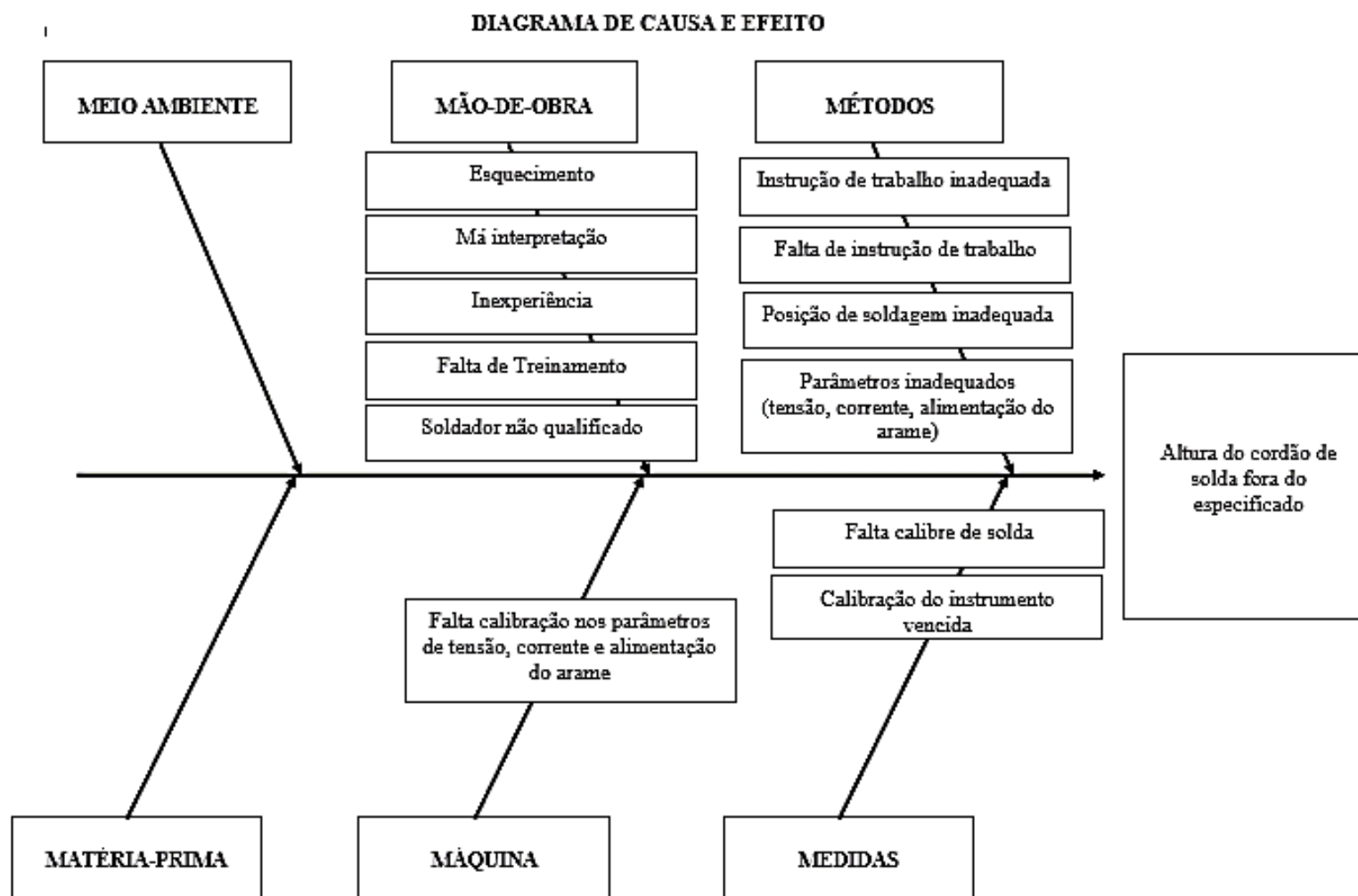
Fonte: AUTORES (2021)

5.2 Etapa 2 Coleta das possíveis causas

Nesta etapa foram organizadas várias reuniões para identificar as possíveis causas das falhas identificadas na etapa anterior, em cada reunião foi apresentado um modo de falha e com a ajuda a ferramenta da qualidade Diagrama de causa e efeito foram identificadas as possíveis causas através dos 6m's (meio ambiente, método, máquina, mão de obra, material, medidas). As reuniões foram organizadas

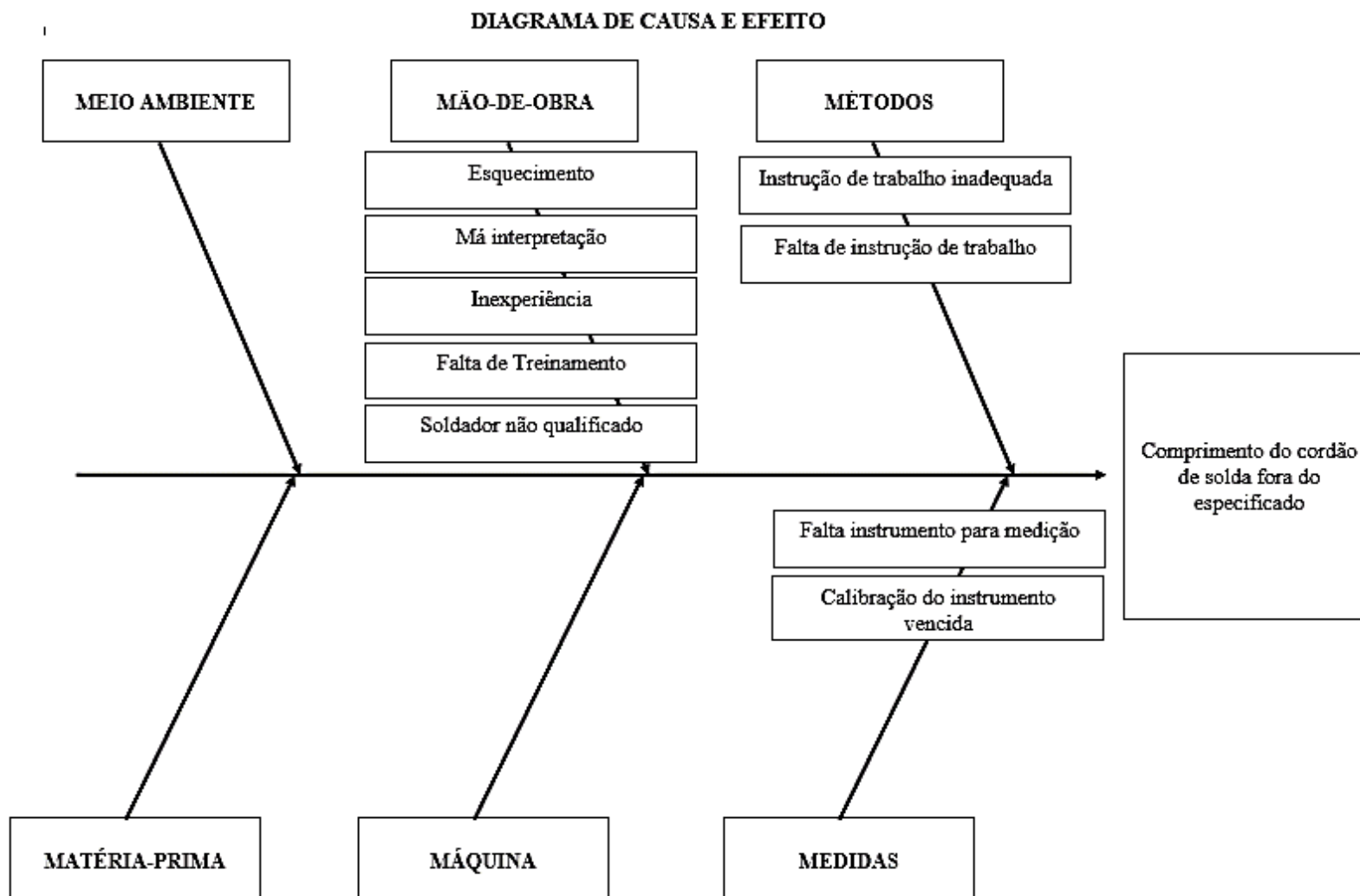
nas sequencias que foram apontadas no Brainstorming, os diagramas levantados serão mostrados nas figuras abaixo.

Figura 40 - Altura do cordão de solda



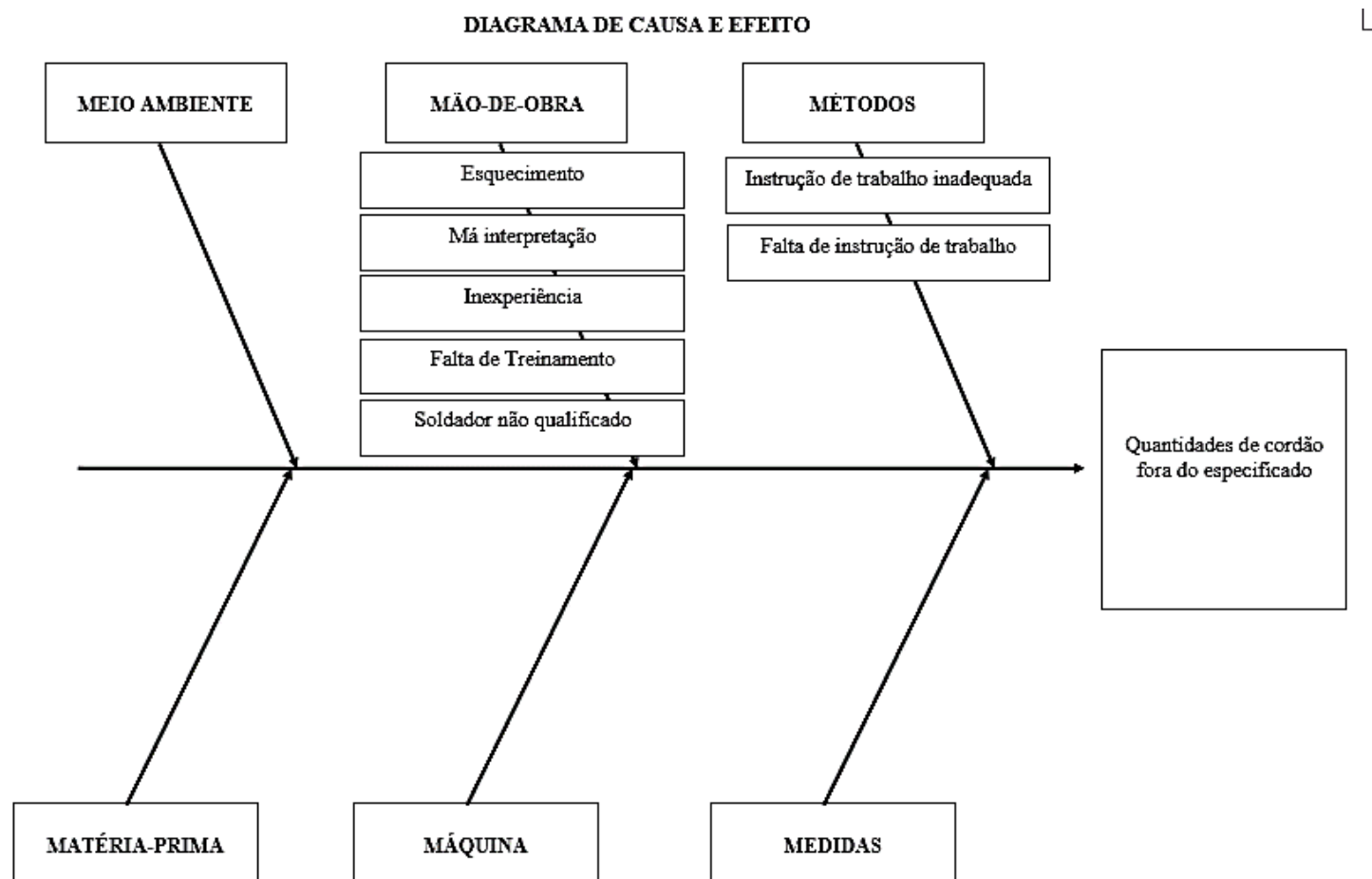
Fonte: AUTORES (2021)

Figura 41 - Comprimento do cordão



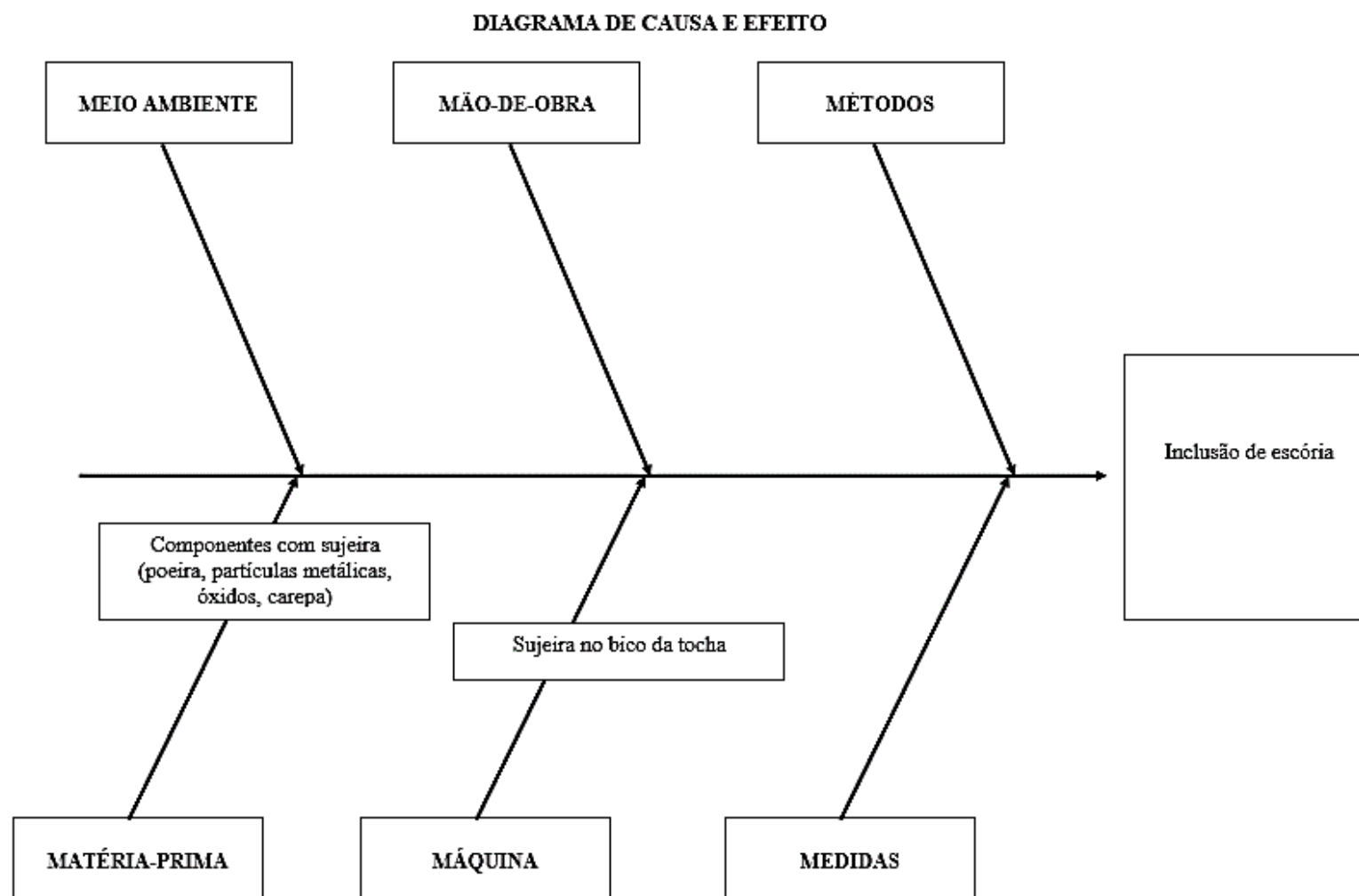
Fonte: AUTORES (2021)

Figura 42 - Quantidade de cordão de solda



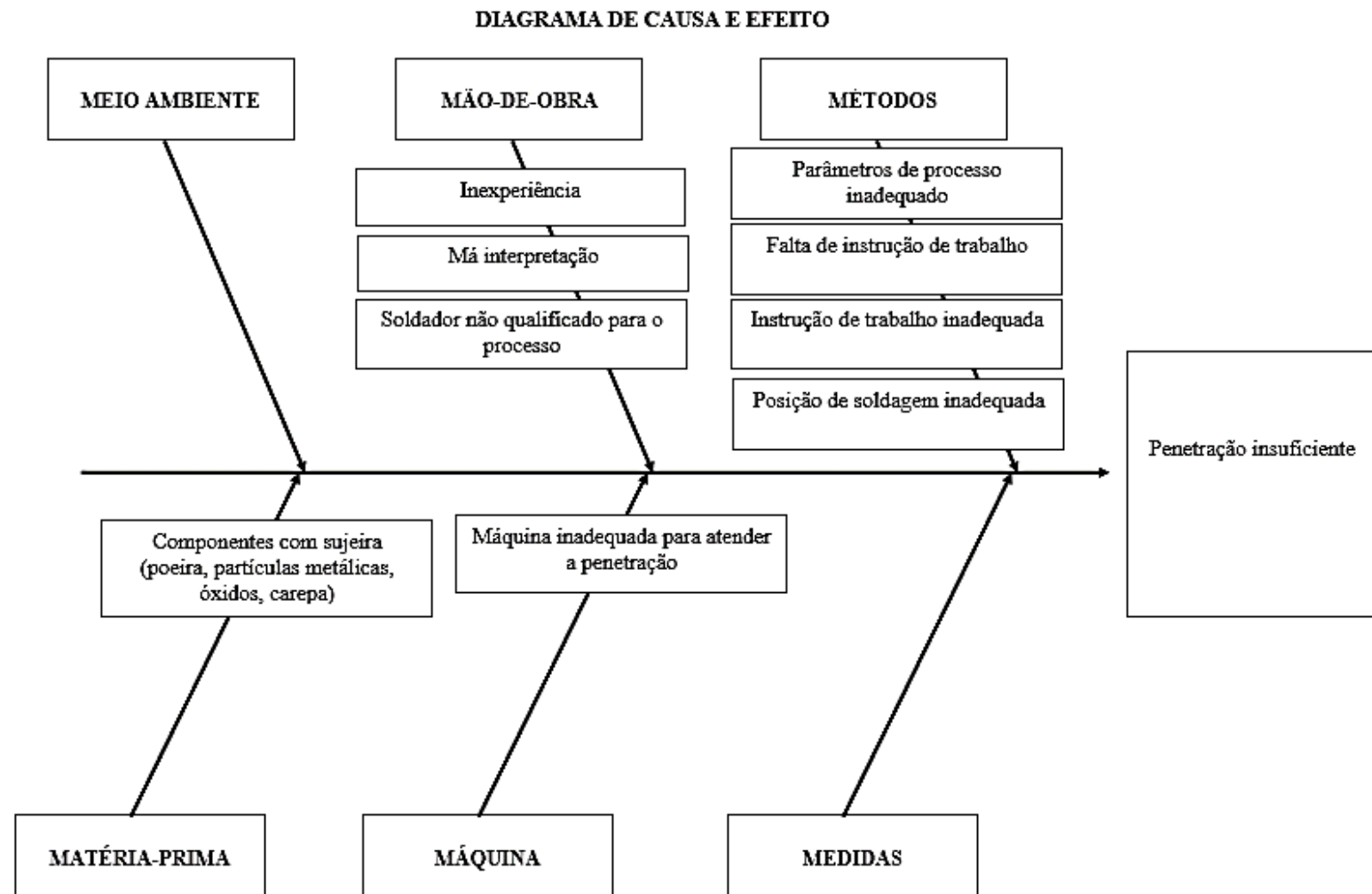
Fonte: AUTORES (2021)

Figura 43 - Inclusão de escória



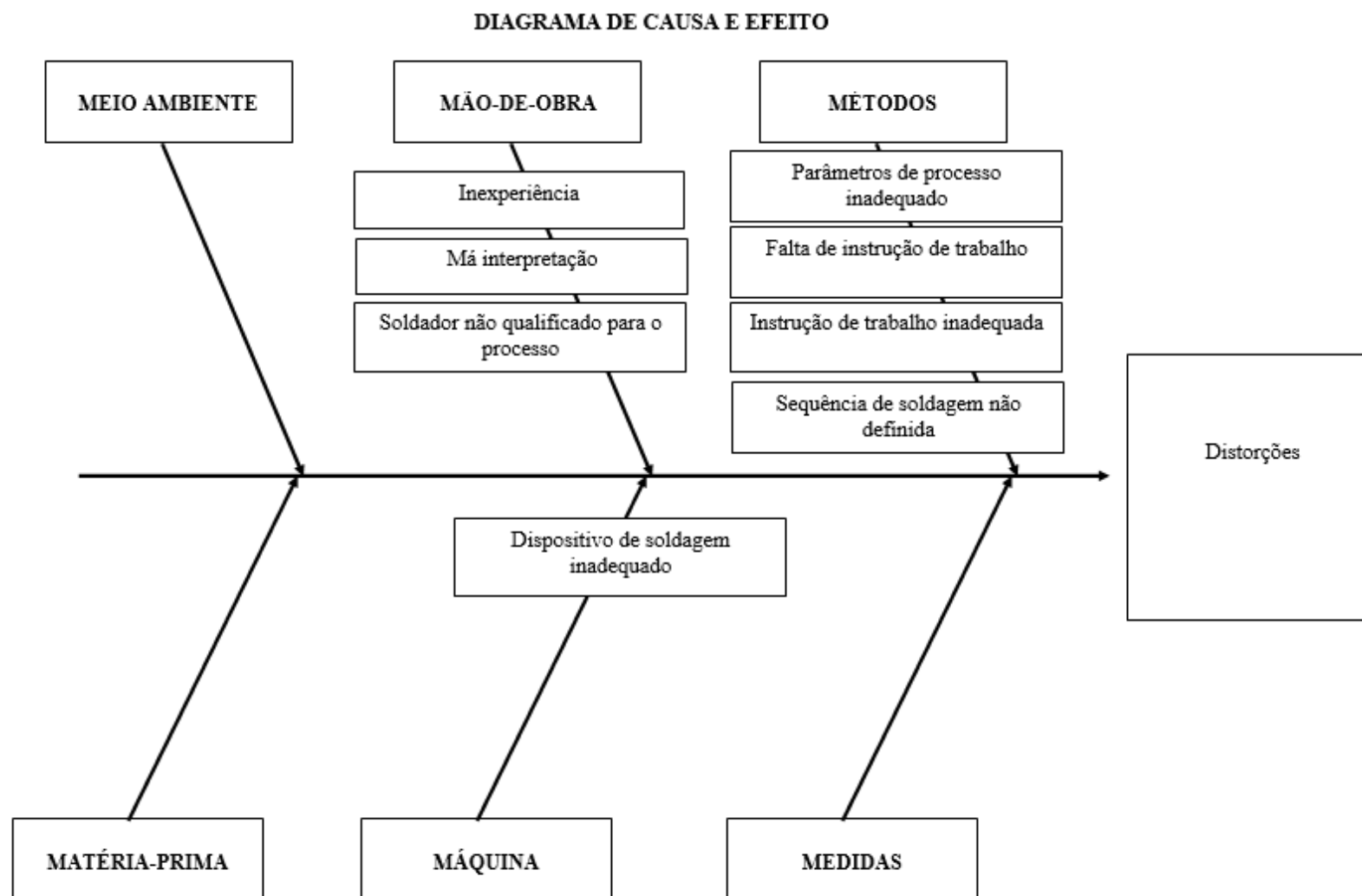
Fonte: AUTORES (2021)

Figura 44 - Penetração insuficiente



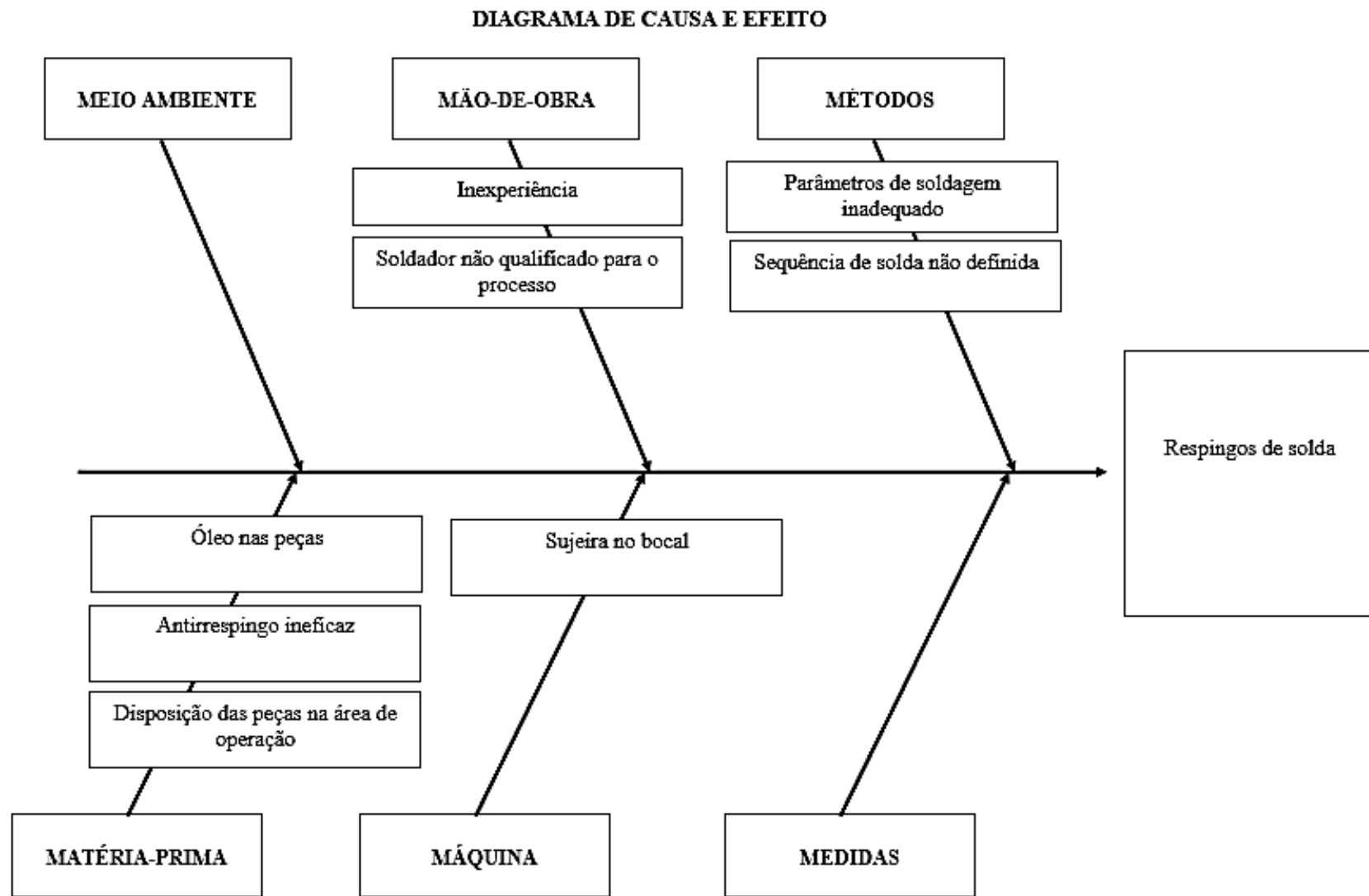
Fonte: AUTORES (2021)

Figura 45 - Distorções

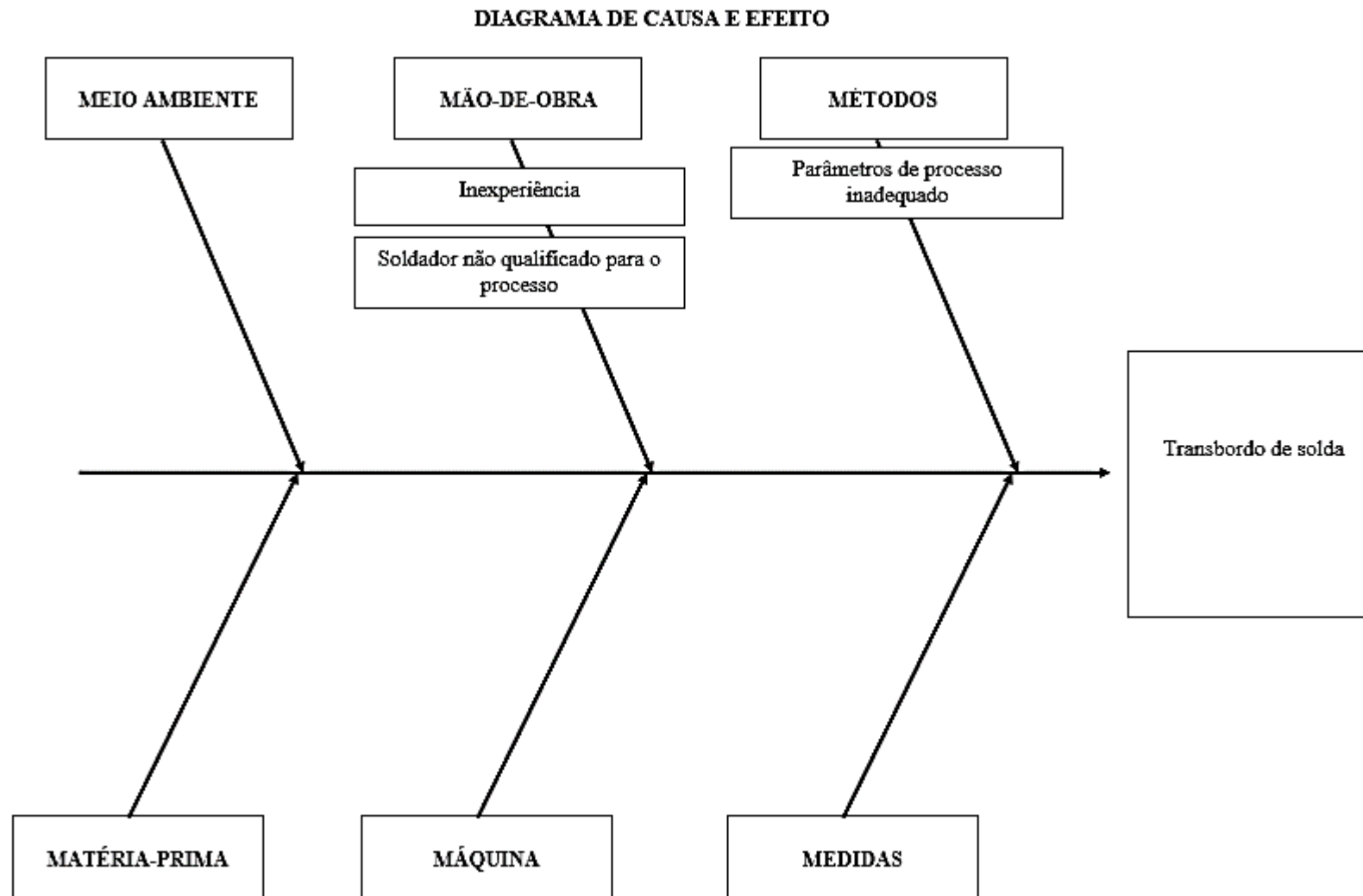


Fonte: AUTORES (2021)

Figura 46 - Respingos de solda

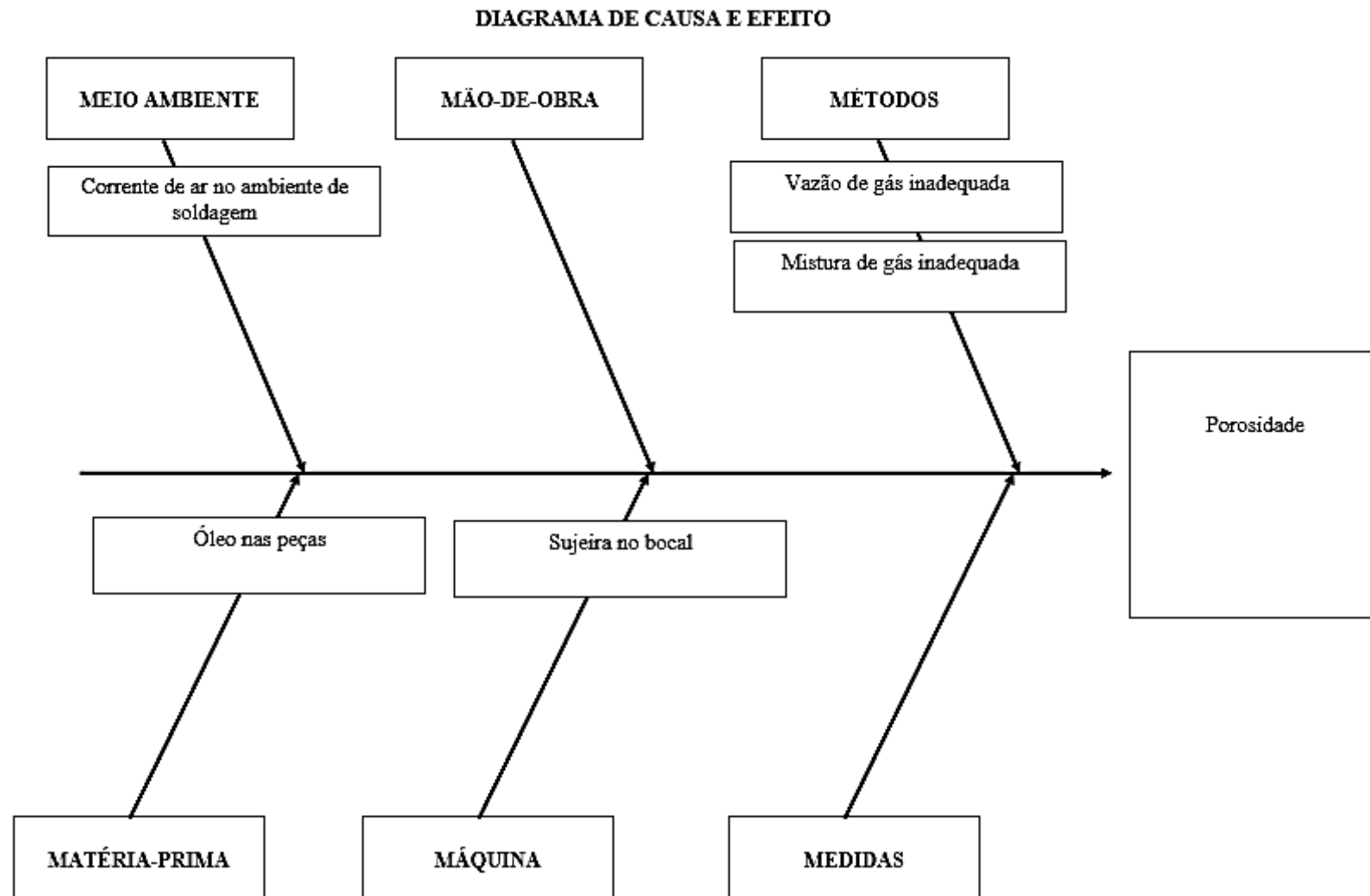


Fonte: AUTORES (2021)

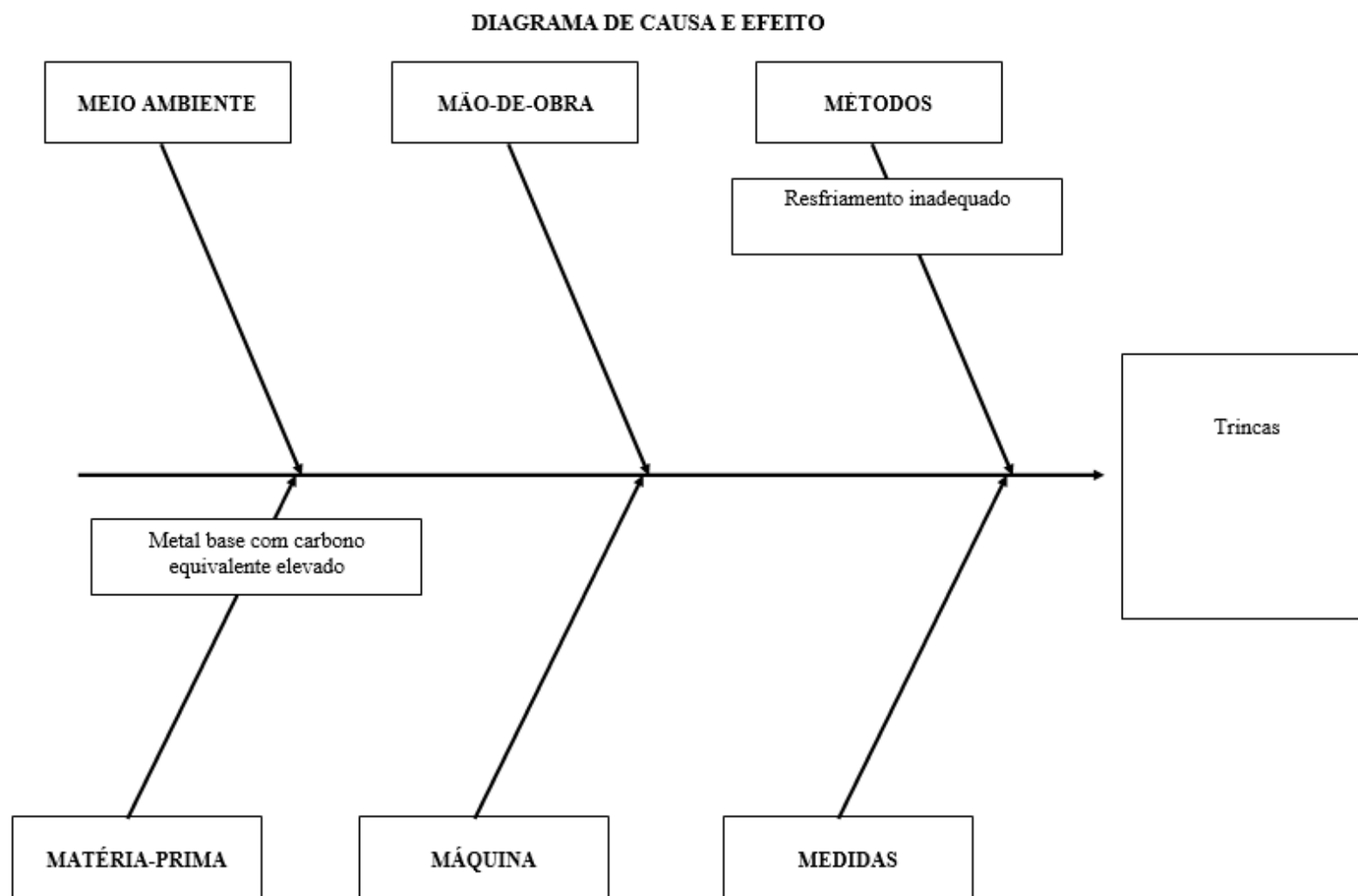
Figura 47 - Transbordo de solda

Fonte: AUTORES (2021)

Figura 48 - Porosidade

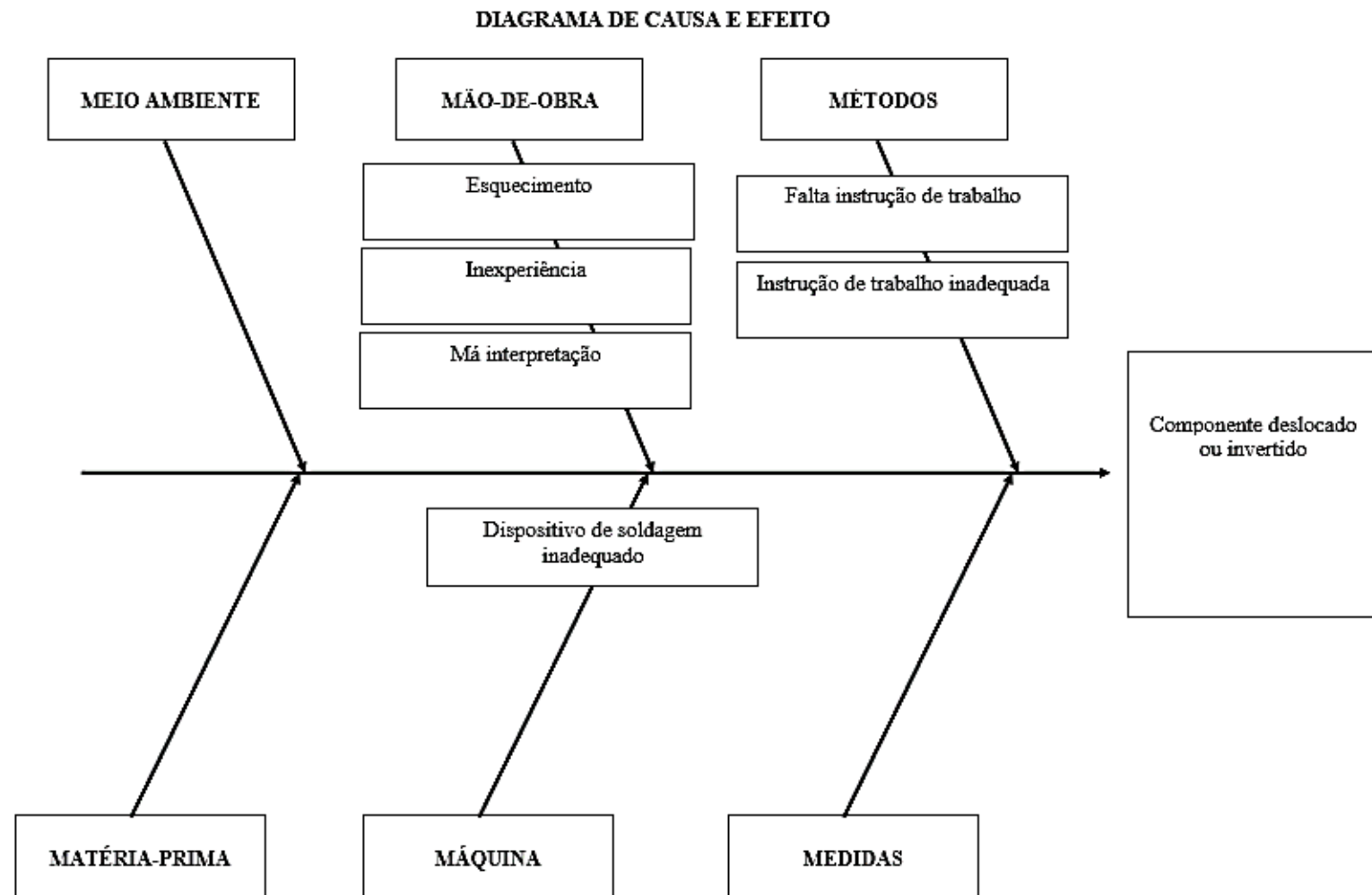


Fonte: AUTORES (2021)

Figura 49 - Trincas

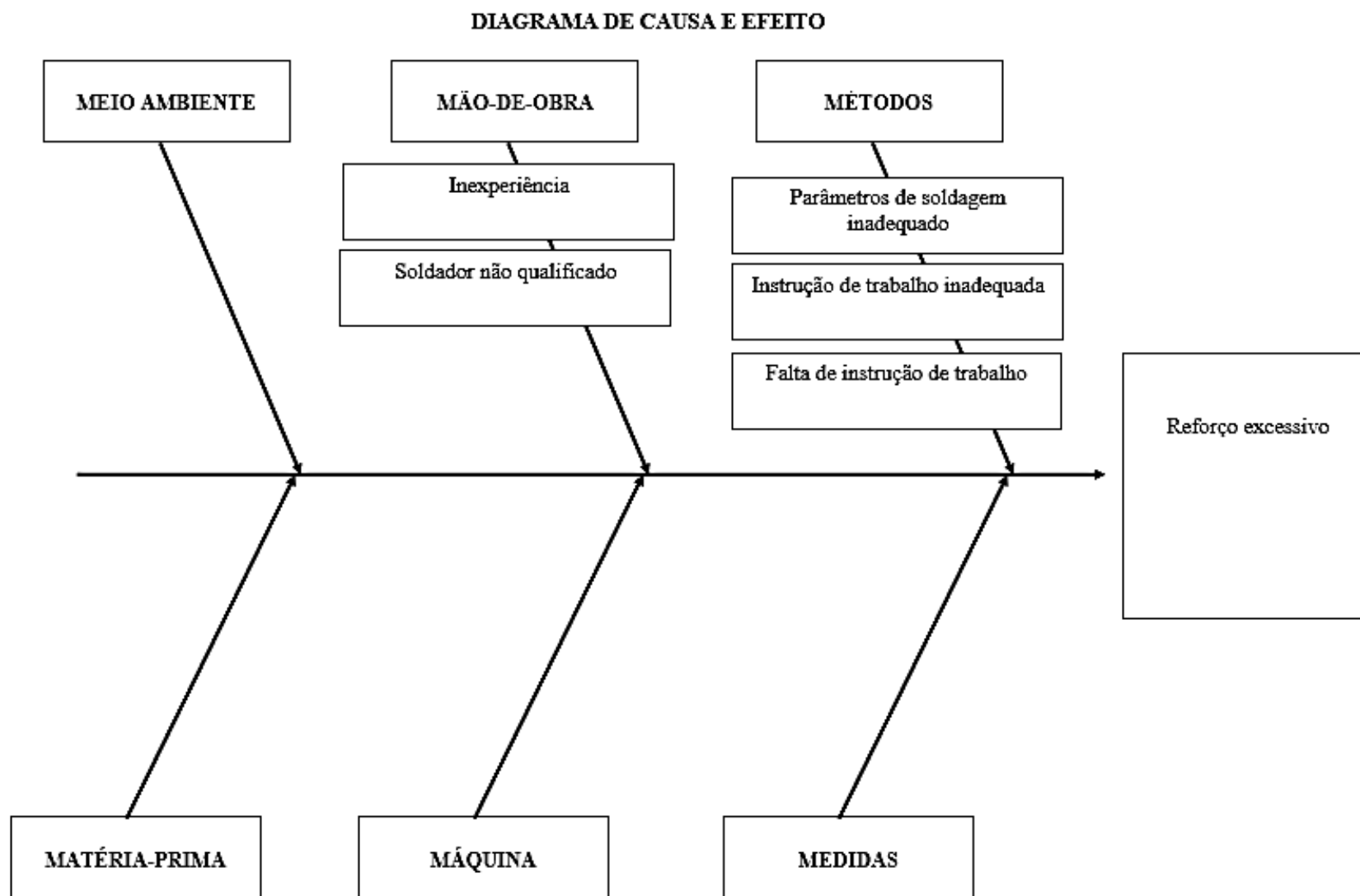
Fonte: AUTORES (2021)

Figura 50 - Componente desloca ou invertido



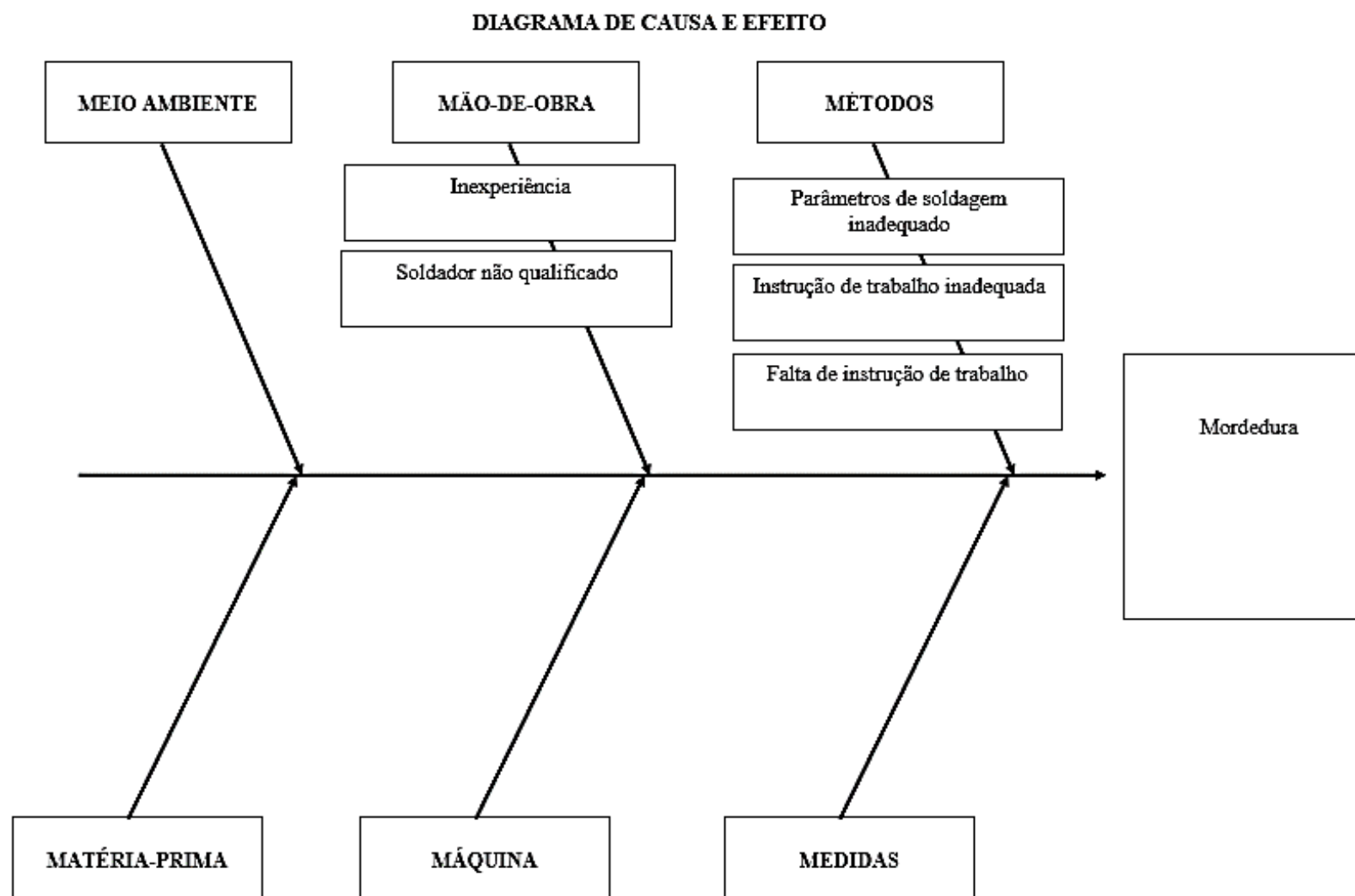
Fonte: AUTORES (2021)

Figura 51 - Reforço excessivo



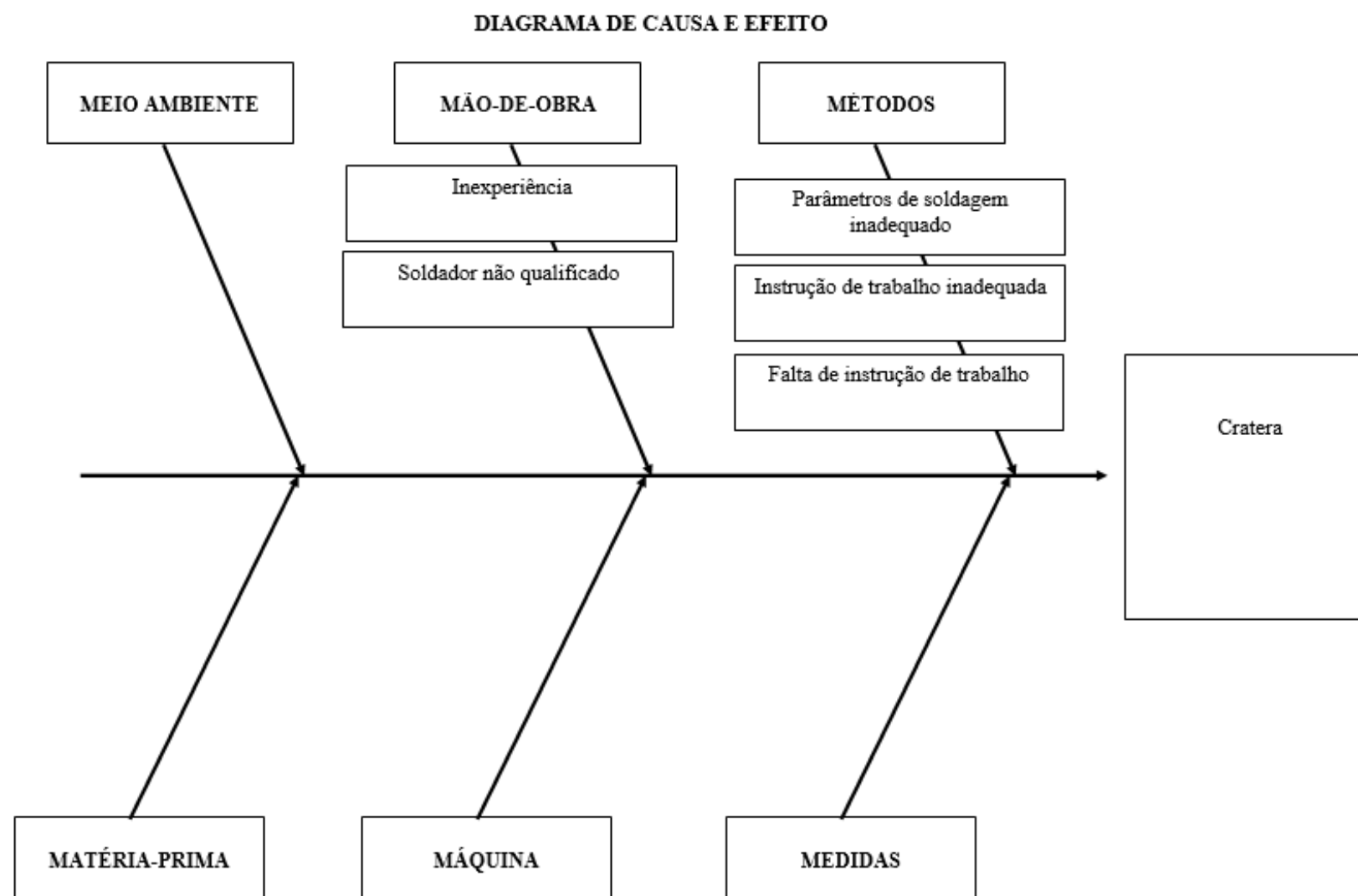
Fonte: AUTORES (2021)

Figura 52 - Mordedura



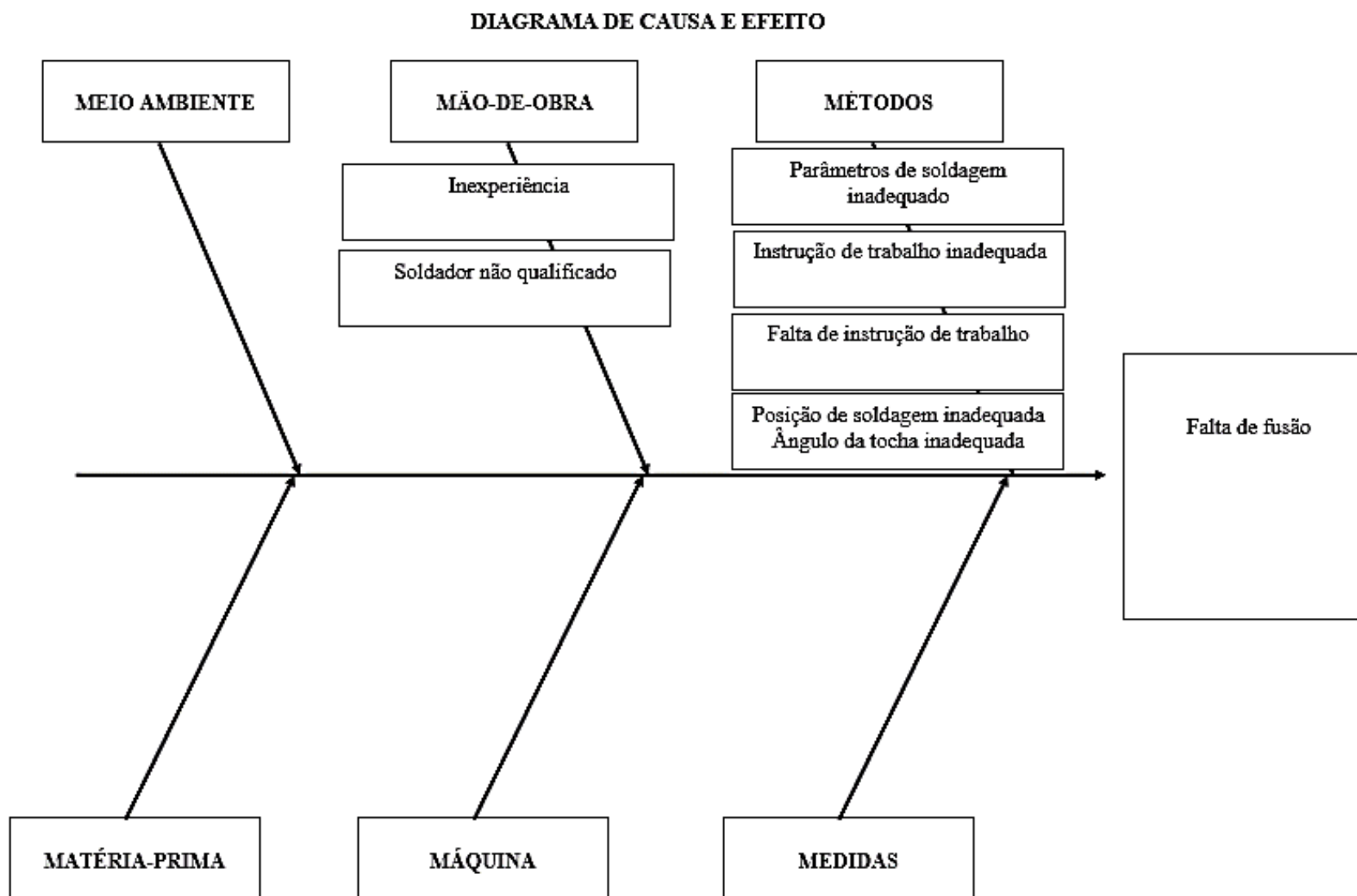
Fonte: AUTORES (2021)

Figura 53 - Cratera



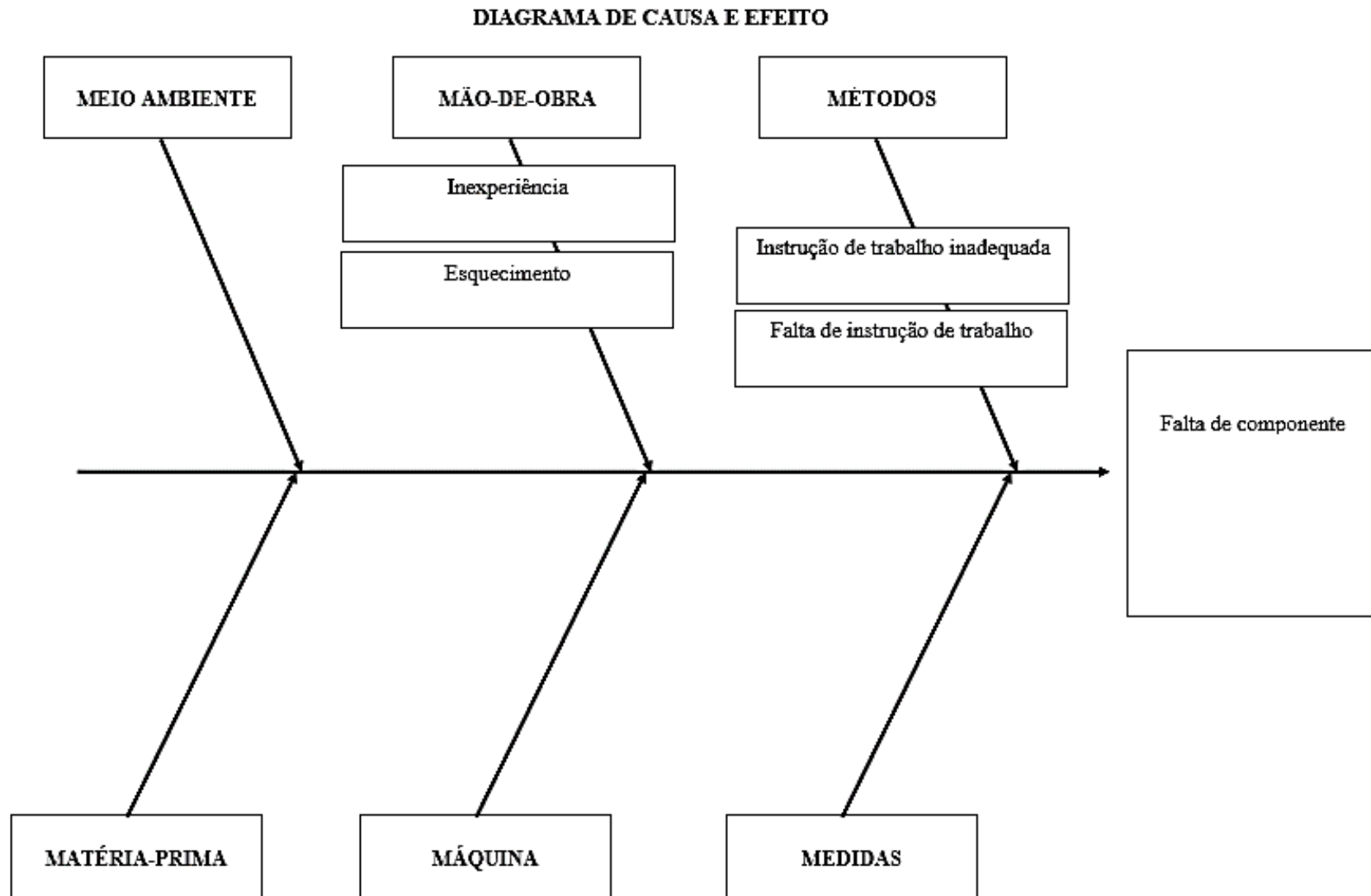
Fonte: AUTORES (2021)

Figura 54 - Falta de fusão



Fonte: AUTORES (2021)

Figura 55 - Falta de componente



Fonte: AUTORES (2021)

5.3 Etapa 3 Coleta das possíveis causas

Nesta etapa foi disponibilizado para o inspetor de qualidade do setor de soldagem uma folha de verificação para ele fazer o levantamento do número de ocorrências ocorridas no processo durante um período determinado afim de verificar quais modos de falhas devemos atacar para reduzir os números de ocorrências no processo. A tabela 13 apresenta os dados obtidos.

Tabela 13 – Folha de verificação

MODO DE FALHA	INCIDÊNCIA	QTDE PEÇAS NOK
ALTURA DO CORDÃO DE SOLDA FORA DE ESPECIFICAÇÃO	13	101
COMPONENTES DESLOCADO / INVERTIDO	53	290
COMPRIMENTO DO CORDÃO DE SOLDA FORA DE ESPECIFICAÇÃO	1	9
CONVECCIDADE (REFORÇO EXCESSIVO)	0	0
CRATERA	0	0
DISTORÇÃO DA PEÇA	63	496
FALTA COMPONENTE	24	87
FALTA DE FUSÃO	6	6
INCLUSÃO DE ESCÓRIA	0	0
MORDEDURA	1	1
PENETRAÇÃO INSUFICIENTE	3	3
POROSIDADE	78	638
QUANTIDADE DE CORDÃO DE SOLDA FORA DE ESPECIFICAÇÃO.	11	158
RESPINGOS DE SOLDA NA PEÇA	7	21
TRANSBORDO DE SOLDA	1	1
TRINCAS	0	0

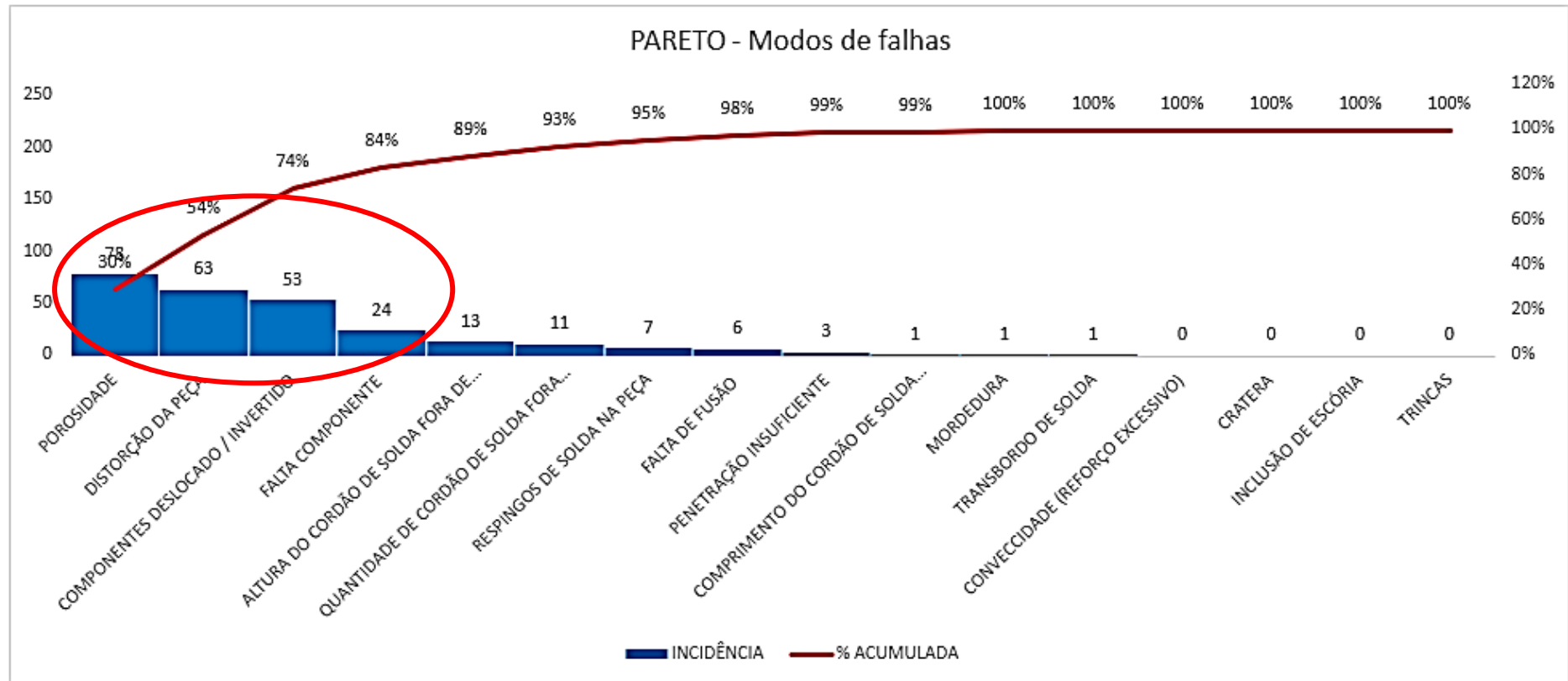
Fonte: AUTORES (2021)

5.4 Etapa 4 Identificação dos modos de falhas que devem ser tratados

Durante esta etapa foi gerado um gráfico de Pareto com os dados obtidos na folha de verificação para determinar quais serão os modos de falhas que deverão ser tratados através de um plano de ação afim de prevenir que estas falhas ocorram novamente.

A Figura 56 apresenta o gráfico obtido através dos dados levantados pela folha de verificação, a área circulada será os modos de falha tratados.

Figura 56 - Pareto Modos de Falhas



Fonte: AUTORES (2021)

5.5 Etapa 5 Definição das ações para os modos de falha apontados no Pareto

Nesta etapa uma nova reunião foi feita onde discutimos sobre o que poderia ser feito para reduzir o número de ocorrência e com isso montamos um plano de ação com os prazos para implementação dessas ações, utilizamos mais uma ferramenta da qualidade nesta fase o 5W1H. A Tabela mostra a ferramenta com as ações definidas.

Tabela 14 - 5W1H

Oque fazer	Porque fazer	Onde fazer	Como fazer	Quem vai fazer	Quando vai fazer
Revisar todas as folhas de processo incluído a identificação dos componentes	Foi detectado que falta informação sobre os componentes	No setor de Engenharia	Via Sistema	Guilherme	09/12/2019
Disponibilizar folha de processo para os auxiliares e treiná-los para verificar a presença dos componentes	Porque foram encontradas peças faltando componentes	Na produção nas bancadas de limpeza	Solicitar as folhas de processo na engenharia e realizar o treinamento	Claudio	09/12/2021
Definir sequência de soldagem e atualizar as folhas de processo	Para evitar distorções nas peças	No setor de Desenvolvimento	Solicitar um lote de amostra de 30 peças definir a melhor sequência para soldagem e atualizar as folhas de processo	Elvio / Thiago	23/11/2019
Inclusão da vazão especificada na EPS na folha de processo e incluir o controle através do Fluxometro	Para evitar porosidades	No setor de engenharia	Consultar EPS verificar a vazão definida e incluir na folha de processo	Guilherme	12/09/2019
Incluir na folha de processo uma observação para segregar componentes com óleo e devolver para o setor de lavagem			Via Sistema	Thiago	12/09/2019
Orientar todos os soldadores sobre a importância de manter o bocal limpo		No setor de soldagem	Reunir todos os soldadores e orientá-los	Claudio	15/09/2019
Desenvolver sistema a prova de erros no dispositivo de solda	Para evitar a montagem de componente invertido ou deslocado	No setor de projetos	Via CAD (inventor)	Rafael	30/11/2029

Fonte: AUTORES (2021)

5.6 Etapa 6 Construção do FMEA através dos dados obtidos

Depois de feito todo levantamento dos dados foi possível montar o FMEA contemplando todas as possíveis falhas que podem ocorrer durante o processo de soldagem e foi incluído os planos de ações para diminuir o número de ocorrências para os modos de falhas que foram apontados pelo Pareto.

A Figura 57 apresenta o FMEA desenvolvido.

Figura 57 - FMEA

FMEA DE PROCESSO (PFMEA)

Número da Peça (cliente)		Rev / Data do Desenho		Nome do Processo				Número da FMEA				Página								
Aplicável a todas as peças soldadas		N.A.		SOLDAR PEÇAS				00												
Preparado Por				Responsável pelo Processo:				Cliente												
THIAGO MONTEIRO				JEFFERSON FERREIRA				Diversos												
Fornecedor				Identificação do Produto:				Número/Rev Peça (Fornecedor)												
MAGNO PECAS IND. E COM. IMP. E EXP. LTDA				Solda				Aplicável a todas as peças soldadas												
Equipe				Aprovado Por				Data												
R.Monteiro (EP), A.Dias (QL), F. Junior (QL), J.Ferreira (EP), Alex Rocha (EP), Guilherme Silva (EP), Cláudio Silva (PR)				Roberto Monteiro				09/09/2018												
Observações								Data Início		Data Rev		Data Chave								
								09/09/2019		09/09/2019										
Função do Processo																				
Requisitos																				
Modo de Falha Potencial		Efeito (s) Potencial(is) da Falha		Severidade	Classificação	Causa (s) e Mecanismo(s) Potencial(is) da Falha	Ocorrência	Controles Atuais do Processo Prevenção	Controles Atuais do Processo Detecção	Detecção	NPR	Ações Recomendadas		Responsável / Prazo		Resultado das ações				
																Ações Tomadas	Severidade	Ocorrência	Detecção	NPR
Falta componente		Prejudica montagem no cliente		6		Falta de informação dos componentes na Folha de Processo	1	Nenhum	Procedimento de liberação da 1ª peça	5	30	Revisar todas as folhas de processos		Guilherme/ Claudio Prazo: 09/12/2019						
						Falha operacional (Inexperiência / Esquecimento / Má Interpretação / Falta de Padronização)	1	Nenhum		5	30	Disponibilizar folha de processo para as bancadas de limpeza e treinar auxiliares para realizarem a conferencia dos componentes								
Altura do cordão de solda fora de especificação		Fragilidade da solda e/ou impede a montabilidade		6	CC	Posição de soldagem	1	Folha de Processo	Calibre de solda / Procedimento de liberação da 1ª peça	5	30									
						Falha operacional (Esquecimento / Má Interpretação / Falta de Padronização)	1			5	30									
Preparar estação de trabalho e soldar conjunto (Solda MIG)																				

Fonte: AUTORES (2021)

Figura 58 – FMEA (CONTINUAÇÃO)

FMEA DE PROCESSO (PFMEA)

Número da Peça (cliente) Aplicável a todas as peças soldadas		Rev / Data do Desenho N.A.		Nome do Processo SOLDAR PEÇAS				Número da FMEA 00				Página						
Preparado Por THIAGO MONTEIRO				Responsável pelo Processo: JEFFERSON FERREIRA				Cliente Diversos										
Fornecedor MAGNO PECAS IND. E COM. IMP. E EXP. LTDA				Identificação do Produto: Solda				Número/Rev Peça (Fornecedor) Aplicável a todas as peças soldadas										
Equipe R.Monteiro (EP), A.Dias (QL), F. Junior (QL), J.Ferreira (EP), Alex Rocha (EP), Guilherme Silva (EP), Cláudio Silva (PR)								Aprovado Por Roberto Monteiro				Data 09/09/2018						
Observações								Data Início 09/09/2019			Data Rev 09/09/2019			Data Chave				
Função do Processo Requisitos		Modo de Falha Potencial	Efeito (s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Classificação	Causa (s) e Mecanismo(s) Potencial(is) da Falha	Ocorrência	Controles Atuais do Processo Prevenção	Controles Atuais do Processo Detecção	Detecção	NPR	Ações Recomendadas	Responsável / Prazo	Resultado das ações				
														Ações Tomadas	Severidade	Ocorrência	Detecção	NPR
Preparar estação de trabalho e soldar conjunto (Solda MIG)		Comprimento do cordão de solda fora de especificação	Fragilidade da solda e/ou impede a montabilidade	6		Falha operacional (Inexperiência / Esquecimento / Má Interpretação / Falta de Padronização)	1	Set-up / Folhas de processo	Calibre de solda / Procedimento de liberação da 1ª peça MP-N-PR-002	5	30	Nenhum						
				6		Falta de meio físico para a localização do início e fim da solda (dispositivo)	1			5	30						Nenhum	
		Quantidade de cordão de solda fora de especificação.	Fragilidade da solda e/ou impede a montabilidade	6	CC	Falha operacional (Inexperiência / Esquecimento / Má Interpretação / Falta de Padronização)	1	Set-up / Folhas de processo	Folha de Processo / Instrução com contagem da quantidade de cordões de solda	5	30	Nenhum						
		Inclusão de escória	Concentração de tensões e trincas	4		Componentes com sujidade (óleo, carepa, óxido de corte)	1	Set-up / Folhas de processo	Procedimento de liberação da 1ª peça MP-N-PR-002	5	20						Nenhum	
4				Escória / sujidade do bocal	1	Nenhum	5	20		Nenhum								

Fonte: AUTORES (2021)

Figura 59 – FMEA (CONTINUAÇÃO)

FMEA DE PROCESSO (PFMEA)

Número da Peça (cliente) Aplicável a todas as peças soldadas		Rev / Data do Desenho N.A.		Nome do Processo SOLDAR PEÇAS				Número da FMEA 00				Página			
Preparado Por THIAGO MONTEIRO				Responsável pelo Processo: JEFFERSON FERREIRA				Cliente Diversos							
Fornecedor MAGNO PECAS IND. E COM. IMP. E EXP. LTDA				Identificação do Produto: Solda				Número/Rev Peça (Fornecedor) Aplicável a todas as peças soldadas							
Equipe R.Monteiro (EP), A.Dias (QL), F. Junior (QL), J.Ferreira (EP), Alex Rocha (EP), Guilherme Silva (EP), Cláudio Silva (PR)								Aprovado Por Roberto Monteiro				Data 09/09/2018			
Observações								Data Início 09/09/2019				Data Rev 09/09/2019			
Função do Processo Requisitos	Modo de Falha Potencial	Efeito (s) Potencial(is) da Falha	Severidade Classificação	Causa (s) e Mecanismo(s) Potencial(is) da Falha	Ocorrência	Controles Atuais do Processo Prevenção	Controles Atuais do Processo Detecção	Detecção	NPR	Ações Recomendadas	Responsável / Prazo	Resultado das ações			
												Ações Tomadas	Severidade	Ocorrência	Detecção
Preparar estação de trabalho e soldar conjunto (Solda MIG)	Penetração insuficiente	Fragilização da junta soldada	5	Parâmetro de soldagem inadequado	1	Ensaio destrutivo (macrografia) no desenvolvimento do processo	Procedimento de liberação da 1ª peça MP-N-PR-003	5	25	Nenhum					
			5	Falha operacional (Inexperiência / Má Interpretação / Falta de Padronização)	1	Ensaio destrutivo (macrografia) no desenvolvimento do processo / Qualificação dos Soldadores		5	25						
			5	Posição de soldagem	1	Ensaio destrutivo (macrografia) no desenvolvimento do processo	Procedimento de liberação da 1ª peça MP-N-PR-004	5	25						
			5	Componentes com sujidade (óleo, carepa, óxido de corte)	1	Ensaio destrutivo (macrografia) no desenvolvimento do processo Inserção de operação de limpeza dos componentes (jateamento / lixamento) quando necessário		5	25	Nenhum					

Fonte: AUTORES (2021)

Figura 60 – FMEA (CONTINUAÇÃO)

FMEA DE PROCESSO (PFMEA)

Número da Peça (cliente)		Rev / Data do Desenho		Nome do Processo			Número da FMEA			Página						
Aplicável a todas as peças soldadas		N.A.		SOLDAR PEÇAS			00									
Preparado Por				Responsável pelo Processo:			Cliente									
THIAGO MONTEIRO				JEFFERSON FERREIRA			Diversos									
Fornecedor				Identificação do Produto:			Número/Rev Peça (Fornecedor)									
MAGNO PECAS IND. E COM. IMP. E EXP. LTDA				Solda			Aplicável a todas as peças soldadas									
Equipe				Aprovado Por			Data									
R.Monteiro (EP), A.Dias (QL), F. Junior (QL), J.Ferreira (EP), Alex Rocha (EP), Guilherme Silva (EP), Cláudio Silva (PR)				Roberto Monteiro			09/09/2018									
Observações				Data Início			Data Rev			Data Chave						
				09/09/2019			09/09/2019									
Função do Processo	Modo de Falha Potencial	Efeito (s) Potencial(is) da Falha	Severidade Classificação	Causa (s) e Mecanismo(s) Potencial(is) da Falha	Ocorrência	Controles Atuais do Processo Prevenção	Controles Atuais do Processo Detecção	Detecção	NPR	Ações Recomendadas	Responsável / Prazo	Resultado das ações				
												Ações Tomadas	Severidade	Ocorrência	Detecção	NPR
Preparar estação de trabalho e soldar conjunto (Solda MIG)	Distorção da peça	Dimensão da geometria fora do especificado	5	Sequência de soldagem	3	Set-up / Folhas de processo	Procedimento de liberação da 1ª peça	5	75	Definir sequência de soldagem e acrescentar na folha de processo	Elvio/ Thiago Prazo: 23/11/2019					
			5	Parâmetro de soldagem inadequado	3	Set-up / Folhas de processo		5	75	Nenhum						
	Respingos de solda na peça	Prejudica montagem no cliente / Aspecto visual degradado	5	Componentes com sujidade (óleo, carepa, óxido de corte)	1	Set-up / Folhas de processo	Verificação visual e limpeza em 100% das peças pelo Auxiliar após a operação	5	25	Nenhum						
			5	Parâmetro de soldagem inadequado	1	Set-up / Folhas de processo		5	25	Nenhum						
			5	Falha operacional (Falta de Padronização)	1	Set-up / Folhas de processo		5	25	Nenhum						
			5	Disposição dos componentes na área de operação	1	Set-up / Folhas de processo		5	25	Nenhum						
			5	Sequência de soldagem	1	Set-up / Folhas de processo		5	25	Nenhum						

Fonte: AUTORES (2021)

Figura 61 – FMEA (CONTINUAÇÃO)

FMEA DE PROCESSO (PFMEA)

Número da Peça (cliente)		Rev / Data do Desenho		Nome do Processo				Número da FMEA				Página					
Aplicável a todas as peças soldadas		N.A.		SOLDAR PEÇAS				00									
Preparado Por				Responsável pelo Processo:				Cliente									
THIAGO MONTEIRO				JEFFERSON FERREIRA				Diversos									
Fornecedor				Identificação do Produto:				Número/Rev Peça (Fornecedor)									
MAGNO PECAS IND. E COM. IMP. E EXP. LTDA				Solda				Aplicável a todas as peças soldadas									
Equipe								Aprovado Por				Data					
R.Monteiro (EP), A.Dias (QL), F. Junior (QL), J.Ferreira (EP), Alex Rocha (EP), Guilherme Silva (EP), Cláudio Silva (PR)								Roberto Monteiro				09/09/2018					
Observações								Data Inicio				Data Rev		Data Chave			
								09/09/2019				09/09/2019					
Função do Processo	Modo de Falha Potencial	Efeito (s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Classificação	Causa (s) e Mecanismo(s) Potencial(is) da Falha	Ocorrência	Controles Atuais do Processo Prevenção	Controles Atuais do Processo Detecção	Detecção	NPR	Ações Recomendadas	Responsável / Prazo	Resultado das ações				
													Ações Tomadas	Severidade	Ocorrência	Detecção	NPR
Preparar estação de trabalho e soldar conjunto (Solda MIG)	Transbordo de solda	Prejudica montagem no cliente / Aspecto visual degradado	5		Falha operacional (Esquecimento / Falta de Padronização)	1	Set-up / Folhas de processo	-	6	30	Nenhum						
	Porosidade	Fragilização da solda / Aspecto visual degradado	5		Vazão inadequada dos gases de proteção	3	Set-up / Folhas de processo	Verificação visual em 100% das peças pelo Auxiliar após a operação	7	105	Inclusão da vazão especificada na EPS na folha de processo e controlar através do Fluxometro	Guilherme Silva Prazo: 12/09/2019					
			5		Mistura inadequada dos gases	3	Set-up / Folhas de processo		5	75	Nenhum						
			5		Componentes com sujidade (óleo)	3	Set-up / Folhas de processo		5	75	Incluir na folha de processo uma observação para segregar componentes com óleo e devolver para o setor de lavagem	Thiago Monteiro Prazo: 12/09/2019					
			5		Escória / sujidade do bocal	3	Set-up / Folhas de processo		5	75	Orientar todos os soldadores sobre a importância de manter o bocal limpo	Claudio Silva Prazo: 15/09/2019					

Fonte: AUTORES (2021)

Figura 62 – FMEA (CONTINUAÇÃO)

FMEA DE PROCESSO (PFMEA)

Número da Peça (cliente) Aplicável a todas as peças soldadas		Rev / Data do Desenho N.A.		Nome do Processo SOLDAR PEÇAS				Número da FMEA 00				Página			
Preparado Por THIAGO MONTEIRO				Responsável pelo Processo: JEFFERSON FERREIRA				Cliente Diversos							
Fornecedor MAGNO PECAS IND. E COM. IMP. E EXP. LTDA				Identificação do Produto: Solda				Número/Rev Peça (Fornecedor) Aplicável a todas as peças soldadas							
Equipe R.Monteiro (EP), A.Dias (QL), F. Junior (QL), J.Ferreira (EP), Alex Rocha (EP), Guilherme Silva (EP), Cláudio Silva (PR)								Aprovado Por Roberto Monteiro				Data 09/09/2018			
Observações								Data Início 09/09/2019		Data Rev 09/09/2019		Data Chave			
Função do Processo Requisitos	Modo de Falha Potencial	Efeito (s) Potencial(is) da Falha	Severidade Classificação	Causa (s) e Mecanismo(s) Potencial(is) da Falha	Ocorrência	Controles Atuais do Processo Prevenção	Controles Atuais do Processo Detecção	Detecção	NPR	Ações Recomendadas	Responsável / Prazo	Resultado das ações			
												Ações Tomadas	Severidade	Ocorrência	Detecção
Preparar estação de trabalho e soldar conjunto (Solda MIG)	Trincas	Fragilização da solda	5	Material base com carbono elevado (e/ou carbono equivalente elevado)	1	-	Verificação visual em 100% das peças pelo Auxiliar após a operação	5	25	Nenhum					
			5	Resfriamento inadequado	1	-									
	Falta de fusão	Fragilização da solda / Aspecto visual degradado	5	Falha operacional (Falta de Padronização / Direcionamento incorreto da tocha)	1	Nenhum	Verificação visual em 100% das peças pelo Auxiliar após a operação	5	25	Nenhum					
			5	Parâmetro de soldagem inadequado	1	Set-up / Folhas de processo		5	25	Nenhum					
			5	Posição de soldagem	1	Nenhum		5	25						

Fonte: AUTORES (2021)

Figura 63 – FMEA (CONTINUAÇÃO)

FMEA DE PROCESSO (PFMEA)

Número da Peça (cliente) Aplicável a todas as peças			Rev / Data do Desenho N.A.			Nome do Processo SOLDAR PEÇAS				Número da FMEA 00				Página			
Preparado Por THIAGO MONTEIRO						Responsável pelo Processo: JEFFERSON FERREIRA				Cliente Diversos							
Fornecedor MAGNO PECAS IND. E COM. IMP. E EXP. LTDA						Identificação do Produto: Solda				Número/Rev Peça (Fornecedor) Aplicável a todas as peças soldadas							
Equipe R.Monteiro (EP), A.Dias (QL), F. Junior (QL), J.Ferreira (EP), Alex Rocha (EP), Guilherme Silva (EP), Cláudio Silva (PR)										Aprovado Por Roberto Monteiro				Data 09/09/2018			
Observações										Data Início 09/09/2019		Data Rev 09/09/2019		Data Chave			
Função do Processo Requisitos																	
Modo de Falha Potencial		Efeito (s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Classificação	Causa (s) e Mecanismo(s) Potencial(is) da Falha	Ocorrência	Controles Atuais do Processo Prevenção	Controles Atuais do Processo Detecção	Detecção	NPR	Ações Recomendadas	Responsável / Prazo	Resultado das ações				
													Ações Tomadas		Severidade	Ocorrência	Detecção
Preparar estação de trabalho e soldar conjunto (Solda MIG)	Conveccidade (Reforço excessivo)	Prejudica montagem no cliente / Aspecto visual degradado / Aumento da concentração de tensão na margem da solda	5		Falha operacional (Má Interpretação / Falta de Padronização)	1	Nenhum	Verificação visual em 100% das peças pelo Auxiliar após a operação	5	25							
	Mordedura	Fragilização do soldado / Degradação visual	5		Falha operacional (Falta de Padronização)	1	Nenhum	Verificação visual em 100% das peças pelo Auxiliar após a operação	5	25							
			5		Parâmetro de soldagem inadequado	1	Set-up / Folhas de processo		5	25							
	Cratera	Fragilização da solda / Aspecto visual degradado	5		Falha operacional (Esquecimento / Falta de Padronização)	1	Nenhum	Verificação visual em 100% das peças pelo Auxiliar após a operação	5	25							

Fonte: AUTORES (2021)

Figura 64 – FMEA (CONTINUAÇÃO)

FMEA DE PROCESSO (PFMEA)

Número da Peça (cliente) Aplicável a todas as peças soldadas		Rev / Data do Desenho N.A.		Nome do Processo SOLDAR PEÇAS		Número da FMEA 00		Página								
Preparado Por THIAGO MONTEIRO				Responsável pelo Processo: JEFFERSON FERREIRA		Cliente Diversos										
Fornecedor MAGNO PECAS IND. E COM. IMP. E EXP. LTDA				Identificação do Produto: Solda		Número/Rev Peça (Fornecedor) Aplicável a todas as peças soldadas										
Equipe R.Monteiro (EP), A.Dias (QL), F. Junior (QL), J.Ferreira (EP), Alex Rocha (EP), Guilherme Silva (EP), Cláudio Silva (PR)						Aprovado Por Roberto Monteiro		Data 09/09/2018								
Observações						Data Início 09/09/2019		Data Rev 09/09/2019								
Função do Processo Requisitos		Modo de Falha Potencial	Efeito (s) Potencial(is) da Falha	Severidade Classificação	Causa (s) e Mecanismo(s) Potencial(is) da Falha	Ocorrência	Controles Atuais do Processo Prevenção	Controles Atuais do Processo Detecção	Detecção	NPR	Ações Recomendadas	Responsável / Prazo	Resultado das ações			
													Ações Tomadas	Severidade	Ocorrência	Detecção
Preparar estação de trabalho e soldar conjunto (Solda MIG)		Componente deslocado ou invertido	Prejudica montagem no cliente	5	Falha operacional (Esquecimento / Falta de Padronização)	2	Nenhum	Procedimento de liberação da 1ª peça	5	50	Disponibilizar folha de processo para as bancadas de limpeza e treinar auxiliares para realizarem a conferencia dos componentes	Guilherme/ Claudio Prazo: 10/10/2019				
				5	Falta de informação dos componentes na Folha de Processo	2	Nenhum		5	50						
				5	Dispositivo de montagem permite a montagem invertida ou deslocada	2	Nenhum		5	50	Desenvolver sistema a prova de erro no dispositivo de soldagem	Rafael Prazo:30/11/201 9				

Fonte: AUTORES (2021)

6 CONCLUSÃO

Com a alta competitividade no mercado é imprescindível que as empresas garantam a qualidade de seus produtos para que sejam bem-vistas pelos seus clientes. Metodologias como o FMEA asseguram que as falhas que possam ocorrer no decorrer do processo venham a ser detectadas impedindo possíveis erros antes não previstos.

O estudo de caso apresentado possibilitou a visualização prática da técnica FMEA sendo empregada em um processo de soldagem GMAW onde mostramos todo o desenvolvimento da ferramenta e montamos o formulário com todas as informações levantadas.

Através desta metodologia e das demais ferramentas da qualidade utilizadas foi possível ver quais os modos de falhas que mais ocorreram em um certo período e com isso foram definidos planos de ações para tentar diminuir o número de ocorrência e obter um processo com menos falhas assegurando a assim a qualidade de seus produtos.

Infelizmente devido a pandemia causada pelo corona vírus não foi possível monitorar a eficácia das ações tomadas e com isso não foi produzida uma revisão no formulário trazendo o resultado das ações.

O objetivo proposto foi atingindo, conseguimos identificar os modos de falhas através do brainstorming, identificar os efeitos com o diagrama de Ishikawa, identificar os modos de falhas mais críticos utilizando a carta de controle e o diagrama de Pareto e, por fim montar um plano de ação com a ferramenta 5W1H, desta forma mostramos que com a utilização das ferramentas da qualidade e com uma equipe multidisciplinar é possível fazer uma análise preliminar do processo identificando as possíveis falhas que possam vir a ocorrer e tratá-las assegurando a qualidade do produto e satisfazendo as necessidades e expectativas do cliente.

Acerca dos defeitos comprimento do cordão de solda, altura do cordão de solda e quantidade de cordões a solução é a utilização do processo robotizado, que a empresa já iniciou a implantação.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Dimas Campos de; MELLO, Carlos Henrique Pereira. **FMEA de Processo: Uma Proposta de Aplicação Baseada nos Conceitos da ISO 9001:2000**. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro, RJ. Out. 2008.

ARAÚJO, E. **Integração da ferramenta FMEA com a avaliação dos custos da Qualidade: Uma aplicação no processo de soldagem GMAW**. São Paulo: Universidade de Taubaté, 2011.

ASME IX, **Seção IX do código ASME IX**, 1983

BAMFORD, D.R.; GREATBANKS, R.W. **The use of quality management tools and techniques: a study of application in everyday situations**. *International Journal of Quality & Reliability Management*, v. 22, n. 4, p. 376-392, 2005.

BARRA, S. R. **Influência do processo MIG/MAG térmico sobre a microestrutura e a geometria da zona fundida**. Santa Catarina, 2003.

BRACARENSE, A. Q. **Gas Metal Arc Welding**. Artigo Infosolda, 2003.

BRACARENSE, A., et al., **A soldagem GMAW (ou MIG – MAG)**, *Revista da Soldagem, ABS*, p. 6-17, Ano II Nº 5 – 2004

CAMPELLO, M. L. C., OLIVEIRA, J. S. G. **O atendimento como instrumento de diferenciação e competitividade na área de serviços**. Resende: II SEGeT - Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia - Associação de Ensino Dom Bosco 2005. Anais...Resende, 2005.

CAMPOS, V. F. **TQC: Controle de Qualidade Total (no estilo japonês)**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia - UFMG, 1992.

CERQUEIRA, U. **Métodos QFD e FMEA para o desenvolvimento de novo produto**. Belo Horizonte: ENEGEP, 2011.

CHAMON, E. M., **Gestão integrada de Organizações**. São Paulo: Brasport Livros e Multimídia LTDA, 2008

CHRYSLER LLC; FORD MOTOR COMPANY; GENERAL MOTORS CORPORATION. **Análise de Modo e Efeito de Falha Potencial (FMEA) – Manual de Referência Quarta Edição. jun. 2008.**

COOPER, R.; SCHINDLER, P. **Métodos de pesquisa em Administração**. São Paulo: Art Med Editora S.A, 2001.

CORTADA, J. W.; QUINTELLA, H. L. M. M. TQM: **Gerência da qualidade total. Tradução Eliane Kanner**. São Paulo: Makron Books, 1994.

FERREIRA, A. B. H. **Novo dicionário Aurélio básico da língua portuguesa**. São Paulo: Nova Fronteira/Folha São Paulo, 1994. 692 p.

FERNANDES, J. R. **Proposição de Abordagem Integrada de Métodos da Qualidade Baseada no FMEA**. Curitiba: PUCPR, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas), Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2005.

FONSECA, M. D. G. D, **Concorrência e progresso técnico na indústria de máquinas para agricultura: um estudo sobre trajetórias tecnológicas**. (Doutorado). Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, São Paulo, 1990.

FORTES, C., **Tradução ESAB MIG Welding Handbook – Apostila ESAB Soldagem MIG/MAG**, São Paulo, 2004.

FUNDAÇÃO BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE SOLDAGEM. **CURSO INSPETOR DE SOLDAGEM VOL.1**. RIO DE JANEIRO:FBTS, 2016.

GIMENES, L.; RAMALHO, J. P. **Introdução MIG/MAG**. Infosolda, disponível em < www.infosolda.com.br/download/61dpe.pdf. >. Acesso em: 06 set. 2021.

GIOCONDO, F. **Ferramentas básicas da Qualidade. Instrumentos para gerenciamento de processo e melhoria contínua**. São Paulo: Biblioteca 24 horas 2011. Disponível em:
<http://books.google.com.br/books?id=CniEMu69GTgC&printsec=frontcover&dq=Diagrama+de+Pareto>. Acesso em 24/10/2021.

GODOY, A.L. **Ferramentas da Qualidade**. 2009. Disponível em:
<http://www.cedet.com.br/index.php?/Tutoriais/Gestao-da-Qualidade/ferramentas-da-qualidade.html>. Acesso em: 24/10/2021

HELMAN, Horacio; ANDERY, Paulo Roberto Pereira. **Análise de falhas (Aplicação dos métodos de FMEA e FTA)**. Belo Horizonte, MG: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1995. 156 p. (Ferramentas da Qualidade, v. 11).

HILL, S. From quality circles total quality management. In: WILKINSON, A e WILLMONTT, H (eds) **Making quality critical: new perspectives on organizational change**. London: Routledge, p. 33-43, 1995.

LOBOS, J. **Qualidade! Através das pessoas**. São Paulo: Instituto da Qualidade, 1991

LUCINDA, M.A. **Qualidade fundamentos e práticas para o curso de graduação**. 3 ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2010.

MACHADO, I.G. **Soldagem e técnicas conexas**. Porto Alegre: Autor, 1996.

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

MEIRELES, M. **Ferramentas administrativas para identificar, observar e analisar problemas: organizações com foco no cliente.** São Paulo: Arte e Ciência, 2001.

MODENESI, P.J. **Soldabilidade dos aços inoxidáveis.** São Paulo: SENAI, 2001 (Coleção Tecnologia de Soldagem)

MODENESI, Paulo J.; MARQUES, Paulo Villani. **Soldagem I: Introdução aos processos de soldagem.** 52 f. Departamento de Engenharia Metalúrgica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000.

MODENESI, Paulo J.; MARQUES, Paulo Villani. **Soldagem: Fundamentos e Tecnologia,** Departamento de Engenharia Metalúrgica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

NERIS, Manoel Messias. **Soldagem.** 51 f. **Cetec Capacitações,** São Paulo, 2012

OKUMURA, T; TANIGUCHI, C. **Engenharia de Soldagem e aplicações.** Rio de Janeiro: LTC, 1982.

OLIVEIRA, J. S. G. **A qualidade do serviço logístico para produtos perecíveis.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. São Paulo: Universidade Paulista - UNIP, 2006.

PEIXOTO, A.L. **Soldagem.** 90 f. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Belém, 2012

PERISSÉ, G. **Palavras e origens.** São Paulo: Saraiva. 2. ed, 2010.

PINHEIRO, I. N., RODRIGUES, J. M. S., RAMOS, R. E. B. **Um estudo de construtos que levam à satisfação e à lealdade do cliente.** Bauru: IX SIMPEP - Simpósio de Engenharia de Produção 2002. Anais...Bauru, 2002.

POSSO, Richard Kleber. **Análise dos Fatores de Influência na Aplicação do “FMEA de Processo” em Produtos Estampados e sugestão de melhoria.** Curitiba: UTFPR, 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais), Campus de Curitiba, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2007.

RADAJ, D. **Welding Residual Stress and Distorsion.** DVS Verlag. 2003

SANTOS, Ronildo Xavier dos. **Aplicação do FMEA no Projeto de Moldes para Injeção de Materiais Termoplásticos.** São Paulo, SP: 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação para Tecnólogo de Produção com ênfase em Plástico), Centro Paula Souza – Centro Tecnológico da Zona Leste - Faculdade de Tecnologia da Zona Leste, 2009.

SCOTTI, A e PONOMAREV, V. **Soldagem MIG/MAG.** São Paulo: Artliber, 2008.

SCHUCHTER, C. **As ferramentas de comunicação interna na gestão para a qualidade.** Juiz de Fora: UFJF; Facom; Projeto Experimental do Curso de Comunicação Social.2.sem.2004.

SENAI CIMATEC. **APOSTILA INSPETOR DE SOLDAGEM.** BAHIA:SENAI CIMATEC, 2012.

SILVA, C. E. S.; ANTONIETTI, L. E. **Análise específica das dificuldades de implementação do FMEA em uma indústria mecânica de autopeças.** 4º Congresso Brasileiro de Gestão em Desenvolvimento de Produtos. Gramado, 2003

SLACK, N.; CHAMBER, S.; JOHSTON R; BETTS, A. **Gerenciamento de operações e de processos. Princípios e práticas de impacto estratégico.** Person Education Limited, 2006

SORENSEN, M.B. **Simulation of Welding Distorsion in Ship Section**. Industrial PhD thesis, University of Denmark, Department of Naval Architecture and Offshore Enginnering. Denmark. 1999

Tremonti, M. A., **Requisitos Organizacionais à Introdução da Robótica: O caso do Processo de Soldagem a Arco Elétrico Sob Proteção Gasosa**. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Escola Politécnica da USP, Área de concentração – Engenharia de Produção, Março, 1999.

UMEDA, M. **ISO - TQC - O caminho em busca de GQT**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia - UFMG, 1996. 58p.

VERGUEIRO, W. **Qualidade em serviços de informações**. 2002. Disponível em: <http://books.google.com.br/books?id=pOhOtn8HOiUC&pg=PA52&dq=Ferramentas+da+Qualidade>. Acesso em: 24/10/2021.

WAINER, E; MELLO, F e BRANDI, S.D. **SOLDAGEM Processos e metalurgia**. São Paulo: Blucher, 2013.

WERKEMA, C. **Lean Seis Sigma. Introdução as ferramentas do Lean Manufacturing**. Editora Campus/Elsevier, 3 ed. Belo Horizonte, 2006