



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS RUSSAS
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

IVAN ASSUNÇÃO SILVA NETO

**ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DOS PROCESSOS NA INSPEÇÃO DA
QUALIDADE DE SOLDAGEM EM UMA INDÚSTRIA DE ESTRUTURAS
METÁLICAS**

RUSSAS
2023

IVAN ASSUNÇÃO SILVA NETO

ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DOS PROCESSOS NA INSPEÇÃO DA
QUALIDADE DE SOLDAGEM EM UMA INDÚSTRIA DE ESTRUTURAS
METÁLICAS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Edvan Cordeiro de Miranda

RUSSAS

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S58a Silva Neto, Ivan Assunção.
Análise de desenvolvimento dos processos na inspeção da qualidade de soldagem em uma indústria de estruturas metálicas / Ivan Assunção Silva Neto. – 2023.
54 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, Curso de Engenharia Mecânica, Russas, 2023.
Orientação: Prof. Dr. Edvan Cordeiro de Miranda.
1. Qualidade. 2. Soldagem. 3. Indústria. 4. Inspeção. I. Título.

CDD 620.1

IVAN ASSUNÇÃO SILVA NETO

ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DOS PROCESSOS NA INSPEÇÃO DA
QUALIDADE DE SOLDAGEM EM UMA INDÚSTRIA DE ESTRUTURAS
METÁLICAS

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia de Mecânica da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial à
obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia de Mecânica.

Aprovada em: 06/12/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Edvan Cordeiro de Miranda (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Pedro Helton Magalhães Pinheiro
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Cândido Jorge De Sousa Lobo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Aos meus pais e irmãs, Elcimar, Carlos,
Lays e Leticia.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, aos meus pais, Elcimar e Carlos, e as minhas irmãs, Lays e Leticia, por fazerem parte da minha vida, sempre me apoiando mesmo nos momentos mais difíceis.

Ao meu orientador Prof. Dr. Edvan Cordeiro de Miranda, pelo apoio na execução deste trabalho.

“Cada sonho que você deixa pra trás, é um
pedaço do seu futuro que deixa de existir.”

(Steve Jobs)

RESUMO

A inspeção da qualidade é uma etapa do processo de suma importância para uma empresa e não seria diferente no processo de soldagem, pois através desta se consegue ter bons resultados e evitar prejuízos futuros. Dessa forma esse estudo tem como objetivo central, aumentar a eficiência do processo de soldagem reduzindo o número de peças com defeitos de soldagem através das ações definidas e aplicadas em um plano de ação. Trata-se de um estudo de caso que foi realizado em uma Indústria de Estruturas Metálicas localizada em Eusébio-CE. A coleta de dados se deu da seguinte forma, a saber: foi elaborado um *checklist* de inspeção através da plataforma *Microsoft Forms*, onde o inspetor pode acessar o formulário através do celular durante a inspeção e realizar o preenchimento de acordo com o resultado observado durante a inspeção. Os resultados obtidos foram averiguados e submetidos a tratamento estatístico usando o *Software Microsoft Office Excel 2010*, onde em seguida foi realizada a tabulação dos dados e a construção de gráficos e tabelas. Em relação aos resultados encontrados pode-se identificar que os principais problemas identificados durante a análise realizada giram em torno de, manuseio incorreto das máquinas de soldagem, higienização da região a ser soldada feita de forma insatisfatória e falta de qualificação dos profissionais envolvidos. Conclui-se que a elaboração e implementação de ações direcionadas aos problemas existentes trouxeram resultados satisfatórios para o processo, reduzindo o número de reprovações e conseqüentemente aumentando a eficiência do processo na etapa de soldagem.

Palavras-chave: qualidade; soldagem; indústria; inspeção.

ABSTRACT

Quality inspection is an extremely important stage of the process for a company and it would be no different in the welding process, as through this it is possible to obtain good results and avoid future losses. Therefore, this study's central objective is to increase the efficiency of the welding process by reducing the number of parts with welding defects through actions defined and applied in an action plan. This is a case study that was carried out in a Metal Structures Industry located in Eusébio-CE. Data collection took place as follows: an inspection checklist was created using the Microsoft Forms platform, where the inspector can access the form via cell phone during the inspection and complete it according to the results observed during the inspection. The results obtained were investigated and subjected to statistical treatment using Microsoft Office Excel 2010 Software, where the data was tabulated and graphs and tables were created. In relation to the results found, it can be identified that the main problems identified during the analysis carried out revolve around incorrect handling of welding machines, unsatisfactory hygiene of the region to be welded and lack of qualification of the professionals involved. It is concluded that the development and implementation of actions aimed at existing problems brought satisfactory results to the process, reducing the number of rejections and consequently increasing the efficiency of the process in the welding stage.

Keywords: quality; welding; industry; inspection.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Plano de Amostragem Simples.....	19
Figura 2 - Plano de Amostragem Dupla.....	20
Figura 3 - Eletrodo Revestido ou SMAW.....	23
Figura 4 - TIG ou GTAW.....	24
Figura 5 - MIG/MAG ou GMAW.....	26
Figura 6 - Soldagem por Resistência Elétrica.....	27
Figura 7 - Falta de penetração.....	31
Figura 8 - Falta de fusão.....	32
Figura 9 - Mordedura.....	32
Figura 10 - Porosidade.....	33
Figura 11 – Tinha de cratera.....	33
Figura 12 – Fases do estudo.....	35
Figura 13 – Macrofluxo de projeto e fabricação.....	36

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Percentual de Reprovações.....	50
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características Eletrodo Revestido ou SMAW.....	23
Tabela 2 - Características TIG ou GTAW.....	25
Tabela 3 - Características do Processo MIG/MAG ou GMAW.....	26
Tabela 4 - Características da Soldagem por Resistência Elétrica	27
Tabela 5 – Critérios avaliados	36
Tabela 6 - Plano de ação.....	38
Tabela 7 – Amostragem para ensaios não destrutivos	40
Tabela 8 - Inspeções do mês de dezembro de 2022.....	43
Tabela 9 - Inspeções dos meses de janeiro e fevereiro de 2023.....	46
Tabela 10 - Inspeções dos meses de março e abril de 2023	47
Tabela 11 - Inspeções dos meses de maio, junho e julho de 2023	48
Tabela 12 – Principais defeitos encontrados durante toda a pesquisa.....	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SMAW	Shielded Metal Arc Welding
TIG	Tungsten Inert Gas
GTAW	Gas Tungsten Arc Welding
MIG	Metal Inert Gas
MAG	Metal Active Gas
GMAW	Gas Metal Arc Welding
ASME	American Society of Mechanical Engineers
API	American Petroleum Institute
DNV	Det Norske Veritas
NQA	Nível De Qualidade Aceitável
END	Ensaio Não Destrutivo
EPS	Especificação de Procedimento de Soldagem
LPP	Lição ponto-a-ponto
1G	Chanfro Plana
2G	Chanfro Horizontal
3G	Chanfro Vertical
4G	Chanfro Sobre Cabeça
1F	Ângulo Plana
2F	Ângulo Horizontal
3F	Ângulo Vertical
4F	Ângulo Sobre Cabeça

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivos	16
1.1.1	Objetivo geral	16
1.1.2	Objetivos específicos	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	Qualidade e inspeção de qualidade	17
2.2	Planos de amostragem	19
2.2.1	Plano de amostragem simples	19
2.2.2	Plano de amostragem dupla	20
2.2.3	Plano de amostragem múltipla	20
2.3	Soldagem	21
2.3.1	Processos de soldagem	22
2.3.1.1	Eletrodo revestido ou SMAW (Shielded Metal Arc Welding)	23
2.3.1.2	TIG ou GTAW	24
2.3.1.3	MIG/MAG ou GMAW (Gas Metal Arc Welding)	25
2.3.1.4	Soldagem por resistência elétrica	27
2.4	Operações de soldagem	28
2.5	Qualidade no processo de soldagem	29
2.6	Principais imperfeições encontradas em materiais metálicos	30
3	METODOLOGIA	34
3.1	Caracterização dos métodos utilizados	34
3.2	Plano de ação	37
3.3	Local do estudo	41
3.4	Instrumentos	41
3.5	Coleta dos dados	41
3.5	Análise dos dados	41
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1	Estudo de Caso	42
4.1.1	Fase 1 - Entendimento do cenário do estudo	42
4.1.2	Fase 2 – Desenvolvimento e aplicação do plano de ação	44
4.1.3	Fase 3 – Avaliação dos resultados das ações	47
4.2	Principais defeitos encontrados durante toda a pesquisa	51
5	CONCLUSÃO	52

REFERÊNCIAS	53
--------------------------	-----------

1 INTRODUÇÃO

O processo de soldagem tanto manual como o semiautomático sofre interferência do soldador e seu julgamento é essencial na modificação ou correção da soldagem no decorrer da execução. Com o surgimento da informática, a sua utilização neste processo apareceu com a finalidade de aumentar a produção e melhorar a qualidade de uma organização. Sendo que a sua aplicação pede, na maior parte, a adaptação dos procedimentos operacionais da empresa à nova realidade a ser implementada (CAMARGO; FERREIRA; PORCIÚNCULA, 2017).

O Controle da Qualidade é um processo amplo, onde a inspeção da qualidade é uma prática que o engloba. Para Paladini (1997), a atividade de inspeção é a mais relevante do sistema de avaliação da qualidade de um processo industrial. Na prática, a qualidade do processo de soldagem pode ser controlada através de três fases de inspeção: antes, durante e depois da realização da soldagem.

Para inúmeras aplicações, o soldador (ou operador) deve mostrar, antes de poder fazer um dado tipo de soldagem na produção, que tem a capacidade necessária para praticar aquele serviço, ou seja, ele deve estar apto de acordo com os atributos de um dado código (FARDIM; MOACYR JUNIOR, 2009).

Tendo como base essa contextualização o estudo tem como temática central a saber: Análise e Desenvolvimento dos Processos na Inspeção da Qualidade de Soldagem em uma Indústria de Estruturas Metálicas.

Para um melhor delineamento da pesquisa tem-se como questão-norteadora, a saber: A Inspeção de Qualidade auxiliou positivamente na Indústria estudada? Os profissionais se encontram aptos? E quais os principais benefícios identificados com a aplicação dessa prática?

O principal intuito desse trabalho é mostrar o quanto o processo de inspeção auxilia na identificação de peças com defeitos de soldagem trazendo assim uma maior efetividade e conhecimento das principais falhas que podem vir a ter no processo, além também de enfatizar o quanto se faz fundamental a capacitação dos profissionais que estão responsáveis por esse serviço.

Acerca da relevância pode-se dizer que a pesquisa tem como principais vantagens: a identificação de peças com defeitos; a minimização do grau de reprovação; aumento da eficiência do processo produtivo na etapa de soldagem; a

qualificação de profissionais e a adoção de práticas como a inspeção que vem trazer um maior nível de qualidade para a indústria.

O estudo aconteceu em 3 fases, onde na primeira fase foi entendido o cenário do estudo, na segunda fase foi elaborado e implementado o plano de ação e na terceira fase foi realizado o acompanhamento dos resultados das ações implementadas.

Sobre a divisão do trabalho ele se divide em cinco seções, sendo elas:

Primeira Seção: delimitação do tema, questão-norteadora, justificativa, relevância e principais objetivos.

Segunda Seção: referencial teórico (aspectos conceituais de qualidade e inspeção, descrevendo os principais níveis e sua classificação; caracterização dos planos de amostragem; conceituação de soldagem e o seu processo abrangendo as principais características de cada tipo de soldagem; principais imperfeições encontradas em materiais metálicos).

Terceira Seção: passo a passo da metodologia (tipo de estudo, plano de ação, local do estudo, instrumentos da pesquisa, coleta e análise dos dados).

Quarta Seção: análise dos resultados encontrados.

Quinta Seção: principais conclusões do estudo.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

- Aumentar a eficiência do processo de soldagem através da redução do número de peças reprovadas na inspeção da qualidade na soldagem.

1.1.2 Objetivos específicos

- Definir processos a serem seguidos;
- Qualificar soldadores;
- Definir e classificar inspeções da qualidade;
- Qualificar e quantificar os principais defeitos de soldagem;
- Reduzir o número de defeitos de soldagem.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Qualidade e inspeção da qualidade

A qualidade é um assunto intemporal, sempre existiu e sempre existirá simplesmente porque é um valor humano. Começa em casa, continua na escola, passa por organizações e volta para casa. Ali, cada ciclo recomeça, atualizando conceitos e refletindo os novos valores, costumes e modas da sociedade. A qualidade é percebida subjetivamente e pessoalmente pelas pessoas, por isso é impossível medir e é difícil comparar produtos entre si. Não se pode negar que a qualidade tem um componente subjetivo imensurável, portanto, se o objetivo é controlar e gerenciar a qualidade, ela deve ser objetivada de forma que permita quantificá-la. Não existe qualidade absoluta. Um produto deve ser desenvolvido para um segmento de mercado específico e bem definido. As soluções que você deseja encontrar são sempre aquelas que oferecem mais valor para seus clientes (o maior número de recursos e a maior satisfação de cada um) e as que abordam o menor custo (COSTA, 2013).

A inspeção da qualidade é um conceito usado para descrever atividades destinadas a inspecionar, verificar, medir e testar produtos em relação aos requisitos especificados para determinar se a conformidade foi alcançada. O termo inspeção da qualidade refere-se à verificação de um produto, ao contrário de uma auditoria de qualidade, que analisa tanto os processos quanto os sistemas envolvidos na fabricação, por exemplo (SGS, 2019).

A inspeção é o processo de determinar se uma peça, amostra ou lote atende a determinadas especificações de qualidade. É realizada em produtos existentes para garantir que a qualidade dos itens apresentados atenda às especificações de aceitação. O teste sempre foca nos recursos de qualidade e dependendo da importância desse recurso para a funcionalidade da peça avaliada, os resultados dos testes podem gerar reclamações (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2004).

Para alcançar melhores parâmetros de qualidade, a inspeção, uma das ferramentas de avaliação de qualidade, é amplamente utilizada e refere-se ao procedimento para determinar se um produto/serviço atende a determinadas especificações de qualidade (ZU, 2009).

O foco principal da inspeção é garantir que uma operação, etapa do processo ou produto esteja em conformidade com os parâmetros operacionais e de qualidade gerais. Pode levar à rejeição ou interrupção para adaptação ao funcionamento ideal (CARELLI, 2016).

O nível de inspeção determina a relação entre o tamanho do lote e o tamanho da amostra. O nível de inspeção utilizado para um requisito específico é determinado pelo inspetor. Há três níveis de teste I, II e III. As inspeções são realizadas no Nível II, a menos que especificado de outra forma. O teste de Nível I é aceitável onde é necessária menos discriminação, e o teste de Nível III é aceitável onde é necessária maior discriminação (NBR, 1985).

Dentre os seus principais níveis, estão:

- **Nível de inspeção normal:** o teste geralmente começa no nível normal. Se 2 de 5 amostras consecutivas forem rejeitadas, isso é um sinal de que o lote se deteriorou e passou por testes rigorosos.
- **Nível de teste rigoroso:** Se nenhuma objeção for encontrada em 5 amostras consecutivas, a qualidade do lote é melhorada e o prossegue para o teste normal.
- **Nível de inspeção reduzido:** Se nenhuma das 10 inspeções boas for detectada, melhorou a qualidade do lote. Ele volta ao normal com um salto no estado de amortecimento (BANDUELLE, 2015).

O teste pode ser executado assim:

- **Inspeção por variáveis:** As características de qualidade são avaliadas quantitativamente por medições;
- **Inspeção por atributo:** Neste caso a ocorrência de um erro é verificada sem determinar sua força. É uma avaliação qualitativa;
- **Inspeção Completa (100%):** Inspeccionar cada lote. Aplica-se quando há falha de peças, componentes ou materiais que interfere na operação ou uso do produto final ou coloca em risco o usuário;
- **Inspeção por Amostragem:** Realizada em parte de um lote (amostra). É usado principalmente em jogos de grande escala e situações em que testes destrutivos são necessários (NBR, 1985).

2.2 Planos de amostragem

De acordo com o que traz o autor Banduelle (2015), um plano de amostragem se define em função de:

NQA, n, a e r.

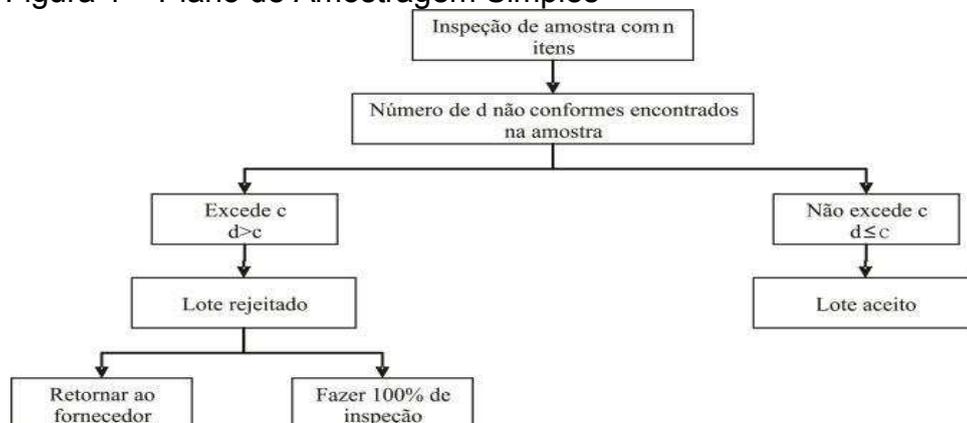
- Define-se o NQA;
- Define-se o tipo de amostragem: simples, dupla ou múltipla;
- Define-se o grau da inspeção: normal, severa ou atenuada;
- Toma-se a letra código, no nível de inspeção II, em detrimento do tamanho da produção;
- Com a letra código e o NQA define-se o plano de amostragem PL (n, a, r).

De acordo com a NBR 5426/1985, os principais planos de amostragem se classificam em:

2.2.1 Plano de amostragem simples

A quantidade de unidades de produto testadas deve ser, igual ao tamanho da amostra especificada no plano. O lote é considerado aceitável se o número de unidades defeituosas encontradas na amostra for menor ou igual ao número de aceitos (A_c). Se o número de unidades defeituosas for maior ou igual ao número de rejeitados (R_e), o lote deve ser rejeitado, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1 – Plano de Amostragem Simples

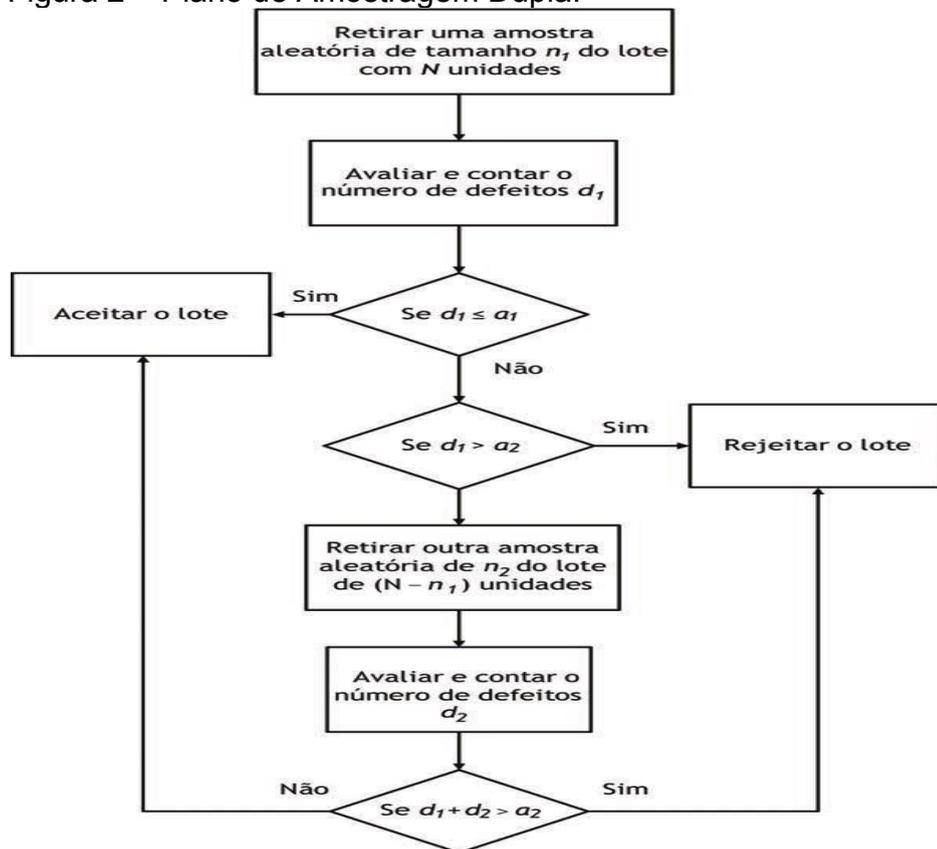


Fonte: Gomide (2010).

2.2.2 Plano de amostragem dupla

A quantidade de unidades de produto testadas deve ser igual ao tamanho da amostra inicial especificada no plano. Um lote é considerado aceitável se o número de unidades defeituosas nas primeiras amostras for menor ou igual às primeiras aceitações (A_c). Se o número de unidades defeituosas na primeira amostra for maior ou igual ao primeiro número rejeitado (R_e), o lote é rejeitado. Se o número de defeituosos encontrados na primeira amostra for maior que o número de primeiras passagens e menor que o número de primeiras rejeições, então uma segunda amostra do tamanho especificado no plano é sorteada, conforme traz a Figura 2.

Figura 2 – Plano de Amostragem Dupla.



Fonte: Martins (2010).

2.2.3 Plano de amostragem múltipla

Nesse tipo de plano o número de amostras consecutivas para decisão deve ser maior que 2. O plano de amostragem múltipla é uma ampliação da amostragem dupla, onde há a retirada sequencial de amostras do lote até que a quantidade de

falhas passe a linha autorizada de não-conformes ou até que o número de fases da amostra seja alcançado (MONTGOMERY, 2004).

Conforme Shirose (1981) as principais vantagens e desvantagens comparativas dos planos de amostragem simples, dupla e múltipla, são:

- **Aceitabilidade para o fabricante:** a amostragem múltipla é a melhor das três, devido inúmeras probabilidades de inspeção no lote, pois a dupla atende até duas inspeções e a simples uma única inspeção;
- **Número de itens inspecionados por lote:** na maior parte, na amostragem simples é separado a maior quantidade de artigos em relação aos outros. Na amostragem múltipla o número é menor que a amostragem dupla;
- **Despesas administrativas com treinamento, pessoal, registros, extração e identificação das amostras entre outras informações:** a amostragem múltipla tem o maior custo, a dupla um custo médio e a simples tem o custo mais reduzido;
- **Informação sobre o nível de qualidade do lote:** na amostragem simples traz muitos dados, na amostragem dupla um pouco menos que a simples e na amostragem múltipla há índice de informação reduzida.

2.3 Soldagem

A soldagem é tida como um método de união, entretanto, muitos processos de soldagem ou variações destes são utilizados para a distribuição de material sobre uma superfície, aspirando a reabilitação de peças usadas ou para a geração de um revestimento com atributos especiais. Diferentes processos vinculados com os de soldagem são usados para o corte ou para o recobrimento de peças (CASAGRANDE, 2009).

Ela é um processo de união de materiais, mais particularmente, junção de metais e polímero. Nela, a união é conseguida pela afinidade dos átomos (nos metais) ou moléculas (nos polímeros) à espaços razoavelmente pequenos para que ligações químicas sejam criadas, em especial, ligações metálicas (nos metais) e de *Van der Waals* (nos polímeros). Diferentemente dos outros processos de união (parafusagem, rebiteagem, colagem e brasagem), na soldagem acontece uma junção dos materiais base e de adição (quando usado). Essa mistura, tecnicamente conhecida por solubilidade, pode acontecer na fase sólida (nos processos de soldagem por pressão) ou na fase líquida (nos processos de soldagem por fusão) (FELIZARDO, 2016).

De acordo com o autor Casagrande (2009) os principais progressos, no processo de soldagem são:

- 1801 - Sir Humprey produz um arco elétrico entre dois terminais de um circuito;
- 1836 - Davy descobre o acetileno, que em 1832 Wohler aderiu ao carbureto de cálcio como forma de retirada do acetileno;
- 1837 - Richemont estuda a chama aero hídrica;
- 1847 - Hare derrete 1 Kg de platina com o maçarico oxi-hídrico (oxigênio + hidrogênio);
- 1850 - Saint-Claire-Deville analisam a chama oxi-hídrica;
- 1880 - Moissan analisa o arco elétrico para fornos. Em 1892, desenvolve o carbureto de cálcio no forno elétrico;
- 1885 - Bernardos faz uso do eletrodo de carvão para fusão localizada do aço.
- 1887 - Fletcher efetiva os primeiros ensaios de perfuração de aço sob jato de oxigênio;
- 1901 - Fouche e Picard mostram o primeiro maçarico oxiacetilênico industrial;
- 1902 - Musener (empresa) revela a chama de aquecimento e jato de oxigênio combinados;
- 1930 – Surgem inúmeros desenvolvimentos do processo de soldagem por eletrodos revestidos. A mais específica foi sem dúvida o arco submerso, desenvolvido conjuntamente na União Soviética e nos Estados Unidos;
- 1933 - Hobart e Denver apresentam o processo TIG;
- 1939 - Como variação do processo MIG para ser usado para a soldagem de materiais ferrosos surge o processo MAG.

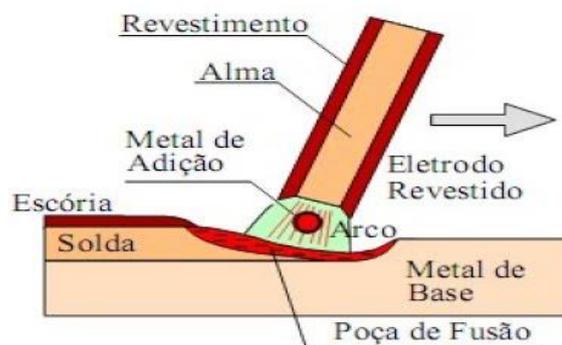
2.3.1 Processos de soldagem

O Caderno Aperan (2020) trata de trazer as principais particularidades dos processos de soldagem enfatizando suas definições, vantagens e limitações, conforme é mostrado a seguir:

2.3.1.1 Eletrodo revestido ou SMAW (Shielded Metal Arc Welding)

O processo por eletrodo revestido (Figura 3) é o mais multifacetado de todos. Pode ser utilizado em todos os tipos de junções e em todas as posições: plana, sobrecabeça, vertical ou horizontal. Ainda que não seja o mais eficaz, é o mais simples e barato. Por suas características, não é o mais apropriado na maioria das aplicações que pedem uma soldagem mecanizada com grande efetividade e alta qualidade.

Figura 3 – Eletrodo Revestido ou SMAW



Fonte: ENGMEC (2018).

A Tabela 1 descreve as características do processo de soldagem conhecido como Eletrodo Revestido ou SMAW (Soldagem por Arco de Metal Blindado). Essa técnica envolve o uso de um eletrodo revestido em um processo de soldagem manual.

Tabela 1 – Características Eletrodo revestido ou SMAW

CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO			
Operação	Características	Vantagens	Limitações
Manual	Taxa de deposição: 0,5 a 5,0 Kg/h.	Redução de Despesas.	Produtividade reduzida justo ao índice de deposição.
	Espessuras soldáveis: > 1,00mm.	Versatilidade.	Necessidade de retirada de escória.

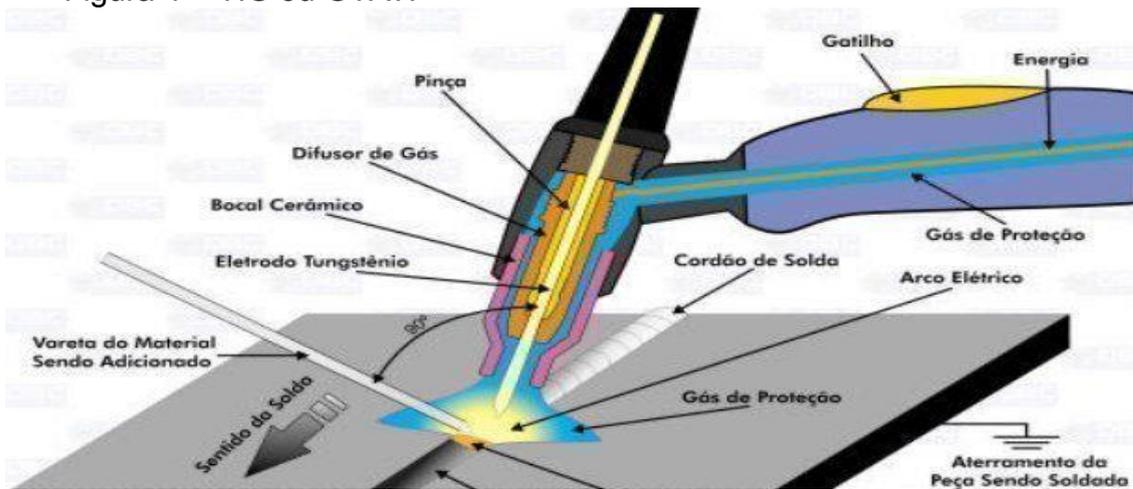
	Posições de soldagem: depende do tipo do revestimento.	Soldagem em ambientes de difícil acesso.	Dependente da habilidade do soldador.
--	--	--	---------------------------------------

Fonte: Aperan (2020).

2.3.1.2 TIG ou GTAW

O processo de soldagem TIG (Figura 4) é muito versátil e pode ser usado em todas as posições. É preferencialmente apropriado em soldagem de seções finas, devido ao calor muito concentrado do arco. Geralmente, não é indicado para espessuras maior de ¼ in (6,35 mm) por causa da velocidade relativamente baixa.

Figura 4 – TIG ou GTAW



Fonte: DBC (2014)

A Tabela 2 apresenta as características do processo de soldagem conhecido como TIG (Tungsten Inert Gas) ou GTAW (Gas Tungsten Arc Welding). Este método de soldagem utiliza um eletrodo de tungstênio não consumível e um gás inerte para proteger a poça de fusão durante a soldagem.

Tabela 2 – Características TIG ou GTAW

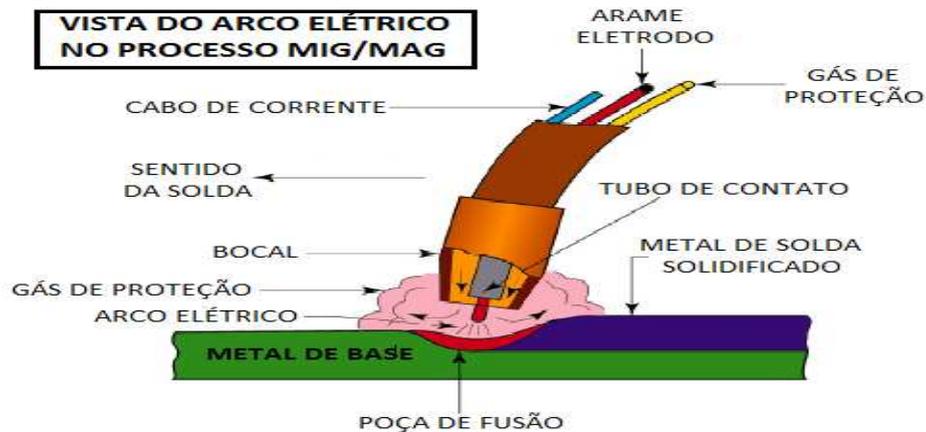
CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO			
Operação	Características	Vantagens	Limitações
Manual ou Automática.	Taxa de deposição: 0,2 a 1,5 Kg/h.	Soldas de excelente qualidade.	Dificuldade de uso em presença de corrente de ar
	Espessuras soldáveis: 0,1 a 6,0 mm.	Acabamento do cordão de solda.	Produtividade baixa devido à taxa de deposição.
	Posições de soldagem: todas.	Menor aquecimento da peça a ser soldada.	Custo.

Fonte: Aperan (2020).

2.3.1.3 MIG/MAG ou GMAW (Gas Metal Arc Welding)

A soldagem MIG/MAG (Figura 5) utiliza o calor de um arco elétrico entre um eletrodo nu, mantido de forma contínua, e o metal de base. O calor derrete o final do eletrodo e a superfície do metal de base para gerar a solda. A proteção do arco e da poça de solda fundida advém de um gás alimentado externamente, que pode ser inerte, ativo ou uma junção de ambos.

Figura 5 – MIG/MAG ou GMAW



Fonte: SUMIG (2020).

Na Tabela 3 são apresentadas as características do processo de soldagem conhecido como MIG (Metal Inert Gas) ou MAG (Metal Active Gas), também chamado de GMAW (Gas Metal Arc Welding). Esse método utiliza um arame consumível como eletrodo, que é alimentado continuamente enquanto um gás inerte ou ativo protege a área de soldagem da oxidação.

Tabela 3 – Características do Processo MIG/MAG ou GMAW

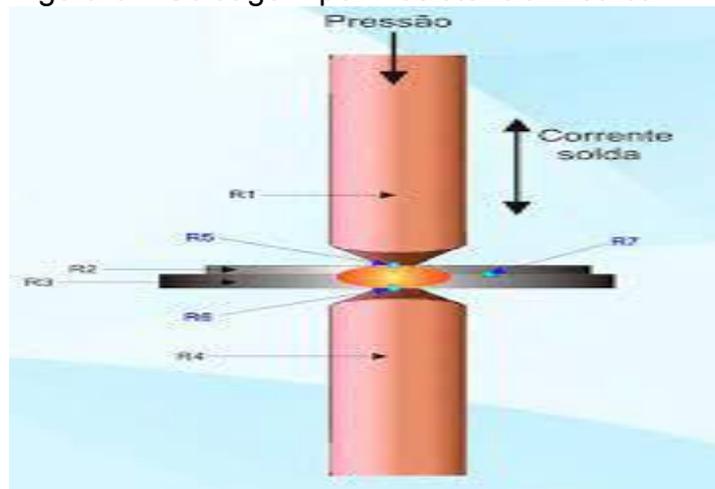
CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO			
Operação	Características	Vantagens	Limitações
Semiautomática ou automática.	Taxa de deposição: 1 a 15 Kg/h.	Habilidade de operação.	Regulagem do processo muito complexa.
	Espessuras soldáveis: 1,5 mm mínimo na soldagem automática e 3,0 mm na soldagem semiautomática.	Alta produtividade.	Não deve ser usado em presença de corrente de ar
	Posições de soldagem: todas.	Processo automatizável.	Cordão de solda com bom acabamento.

Fonte: Aperan (2020).

2.3.1.4 Soldagem por resistência elétrica

Nesta, o calor é formado por meio da passagem de corrente entre dois eletrodos de cobre, não aprazíveis. Quando se coloca pressão com os eletrodos, em junção com a passagem de corrente, acontece a fusão entre as chapas na face comum entre elas, de acordo com que mostra a Figura 6.

Figura 6 – Soldagem por Resistência Elétrica



Fonte: Isotron (2020).

A Tabela 4 detalha as características da Soldagem por Resistência Elétrica, um processo em que a união entre materiais é alcançada pela aplicação de pressão e corrente elétrica. Isso é realizado por meio do aquecimento localizado das peças a serem unidas, fundindo-as e formando a junta.

Tabela 4 - Características da Soldagem por Resistência Elétrica

CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO			
Operação	Características	Vantagens	Limitações
Automática.	Velocidade de soldagem: 0,1 segundo por ponto, 10 cm/segundo por costura.	Soldagem de chapas muito finas.	Custo aumentado do equipamento e da manutenção.

	Espessuras soldáveis: 0,1 mm a 3,0 mm.		
	Tipo de junta: sobreposta.	Facilidade de operação.	Demanda de energia elétrica durante a soldagem.

Fonte: Aperan (2020).

2.4 Operações de soldagem

Na situação específica das operações de soldagem, a realização de soldas inadequadas durante a produção de determinados tipos de estruturas ou equipamentos, tais como navios, prédios, pontes, oleodutos, componentes automotivos e vasos de pressão, pode desencadear em sérios acidentes com grandes prejuízos materiais e, eventualmente, humanos e danos a natureza. Como resultado, as operações de soldagem para inúmeras aplicações são reguladas por diversos códigos de acordo com a aplicabilidade específica (FARDIM; MOACYR JUNIOR, 2009).

Como exemplo de códigos e especificações importantes ligados à soldagem pode-se citar:

- ASME: *Boiler and Pressure Vessel Code* (vasos de pressão);
- API STD 1104: *Standard for Welding Pipelines and Related Facilities* (tubulações e dutos na área de petróleo);
- AWS D1.1: *Structural Welding Code* (estruturas soldadas de aço carbono e de baixa liga);
- DNV: *Rules for Design, Construction and Inspection of Offshore Structures* (estruturas marítimas de aço);
- Critérios diferentes de associações como a *International Organization for Standardization* (ISO), *American Welding Society* (AWS), *British Standard Society* (BSS), *Deustches Institute fur Normung* (DIN), *Association Francaise de Normalisation* (AFNOR), Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), etc (HAYES & MODENESI, 2000).

Estes códigos e especificações podem mascarar as mais diferentes fases de soldagem inserindo, por exemplo, a especificação de material (metal de base e consumíveis), projeto e organização da junta, qualificações de procedimento e de operador e método de inspeção.

Para variadas aplicações, as diretrizes relevantes pedem que, antes da realização da soldagem de produção, especificações dos procedimentos que serão empregados para a sua prática sejam preparadas e qualificadas. Este processo aspira mostrar que, por meio do procedimento apontado, soldas adequadas, conforme as exigências colocadas pela norma ou determinados em contrato, possam ser conseguidas. Além disto, ele autoriza padronizar e preservar registro das circunstâncias apresentadas de soldagem para controle do processo e eventual indicação de causas de falha (FARDIM; MOACYR JUNIOR, 2009).

2.5 Qualidade no processo de soldagem

A qualidade no processo de soldagem está diretamente relacionada ao operador, quando o processo é feito manualmente. Com base em critérios visuais e ensaios específicos feitos em laboratório ou em campo, é dito se há ou não precisão de alterações dos parâmetros, materiais de consumo ou gás de proteção no processo de soldagem com vistas a qualidade deste mesmo. As pessoas qualificadas para fazer o processo de soldagem podem ser, o Inspetor de Solda de diferentes níveis, o operador e o soldador (CAMPOS, 2018).

Conforme Coelho e Junior (2015) e Nascimento e Silva (2010), o procedimento para analisar o processo de soldagem como um todo é formado por três fases, sendo elas:

a) Controle antes da soldagem: dentre os principais fatores se encontram a preparação dos soldadores e o processo de soldagem; observar o material do metal base (material que será feito a soldagem) e do consumível (material de acréscimo no decorrer da soldagem); preparação da junta, qual é a que mais encaixa de acordo com o momento, as principais juntas são do tipo sobrepostas, em ângulo, canto e topo; circunstâncias de trabalho tais como meio-ambiente, espaço e posição da soldagem; análise das ferramentas de soldagem e elementos auxiliares e a calibração dos equipamentos e instrumentos;

b) Durante a soldagem: avaliação dos insumos a serem soldados como espessuras, posição dos elementos, isto é, fiscalização da montagem e ajustes das peças; controle das distorções com o controle da temperatura de pré-aquecimento e entre passes; manipulação e controle dos consumíveis no momento da soldagem; higienização entre passes e limpeza final da junta e por fim averiguação visual;

c) Controle após a soldagem: análise dos atributos da soldagem com ajuda de desenhos e particularidades de projetos; limpeza da solda, com produtos químicos ou lixadeiras de acabamentos; realização de ensaio não destrutivo, mas se conseguir com uma amostra fazer o ensaio destrutivo; controle de reparos após acabamentos e tratamento térmico se for preciso; e finalmente a documentação das tarefas de fabricação e inspeção final.

Para se chegar o produto com o grau de qualidade elevado a soldagem atinge de forma direta o produto, podem ser geradas falhas e danos nas peças, muitos deles visíveis e assim deixando o produto final com má qualidade. Dessa forma, o controle dos parâmetros de soldagem se torna fundamental para obter-se a soldagem de qualidade e por consequência assegurar a mesma qualidade do produto (CAMPOS, 2018).

Em suma, pode-se dizer que o processo de soldagem é algo complexo e que envolve fases importantes que podem trazer grande influência no produto final, com isso se identifica o quanto é fundamental tomar conhecimento do quanto esse processo precisa ser aplicado de forma correta e no período certo para que assim se consiga prevenir falhas e erros.

2.6 Principais imperfeições encontradas em materiais metálicos

A engenharia sempre aceitou imperfeição e trabalha com tolerâncias. Tolerâncias é a expressão que conceitua o índice de aceitação em torno da imperfeição. Devido a isso, existem normas técnicas que falam das tolerâncias na engenharia. Compreende-se por imperfeição toda e qualquer diferença no que se refere ao projeto da peça. Os valores pré-escritos em projetos são os valores nominais e aqueles mensurados na peça são os valores reais. A diferença entre estes valores é a dimensão das imperfeições. As imperfeições são inevitáveis na engenharia, mas podem ser aceitas. Elas só serão vistas como defeitos, portanto inaceitáveis, se

excederem certos limites, fixados pelo projeto da peça soldado como critérios de aceitação.

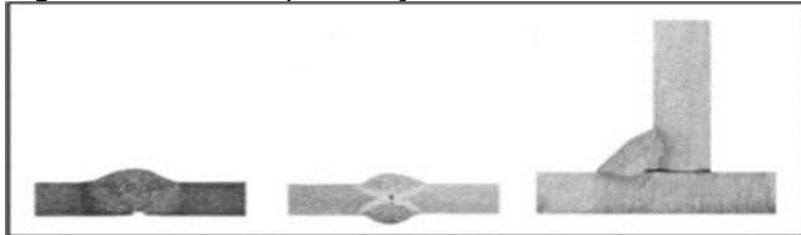
Conforme Silva (2018) dentre as imperfeições encontradas em materiais metálicos mais vistas, têm-se:

- Falta de penetração

Esse tipo de defeito (Figura 7) é causado principalmente por conta da corrente de soldagem, que possui o maior resultado na penetração. Ele é visto em uma das três situações, sendo elas:

- Quando o cordão de solda não penetrar totalmente na espessura do metal base;
- Quando dois cordões de solda opostos não se interpenetrarem;
- Quando o cordão de solda não penetrar na garganta de uma junta em ângulo.

Figura 7 – Falta de penetração

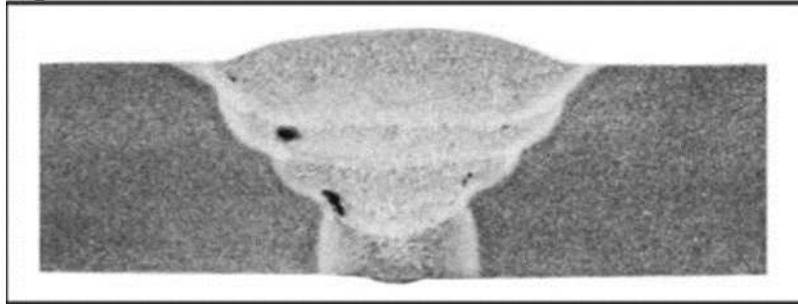


Fonte: UFJF (2018).

- Falta de fusão

Conforme traz a Figura 8 ela acontece onde não houver fusão entre o metal de solda e as superfícies do metal base. A causa mais recorrente de falta de fusão é um método de soldagem deficiente. Ou a poça de fusão fica muito larga (devido a velocidade de soldagem muito baixa) e/ou o metal de solda passou à frente do arco.

Figura 8 – Falta de fusão



Fonte: UFJF (2018).

- Mordedura

A mordedura (Figura 9) é um defeito que surge como um entalhe no metal de base ao longo das bordas do cordão de solda. É visto em juntas em ângulo sobrepostas, entretanto pode também ser achada em juntas de topo e em ângulo. Esse tipo de defeito é mais basicamente desencadeado por parâmetros de soldagem incorretos, preferencialmente a velocidade de soldagem e a tensão do arco.

Figura 9 – Mordedura

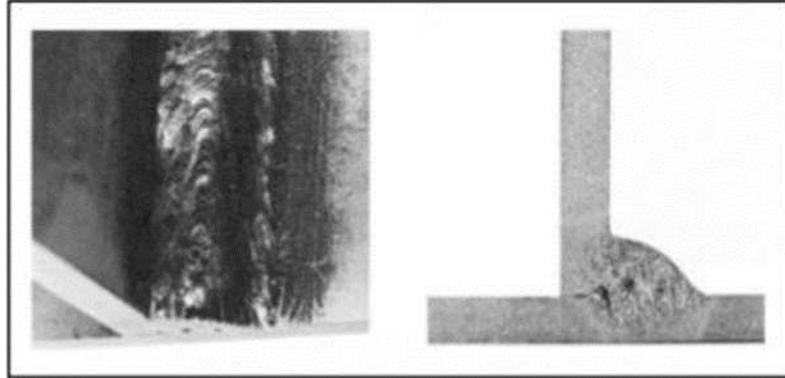


Fonte: UFJF (2018).

- Porosidade

A porosidade consiste em poros de gás que podem ser encontrados na superfície ou no interior do cordão de solda solidificado. Eles podem mudar de tamanho e são na maior parte distribuídos em uma forma aleatória. No entanto, também é possível que a porosidade seja achada somente no centro da solda, conforme mostra a Figura 10.

Figura 10 – Porosidade

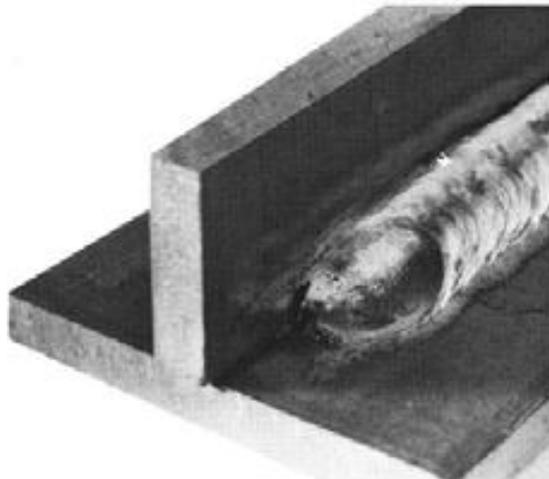


Fonte: UFJF (2018).

- Trinca de cratera

São pequenas trincas (Figura 11) que surgem no final do cordão de solda onde o arco foi cessado. Por mais que sejam pequenas, elas são perigosas, pois podem se disseminar para o interior do cordão de solda.

Figura 11 – Trinca de Cratera



Fonte: UFJF (2018).

3 METODOLOGIA

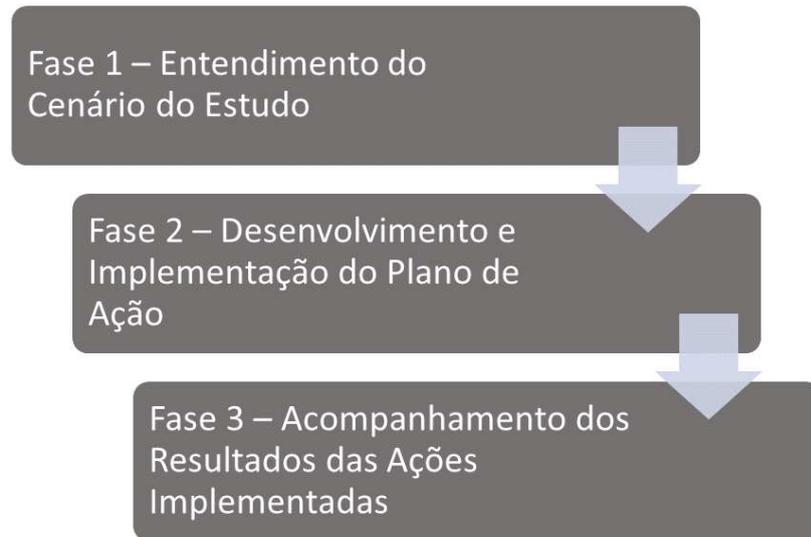
3.1 Caracterização dos métodos utilizados

Trata-se de um estudo bibliográfico do tipo estudo de caso com abordagem quanti-qualitativa. Conforme Ganga (2012), os estudos podem ser classificados como qualitativos e quantitativos. No caso, o presente trabalho se define como um estudo com abordagem mista, sendo ela qualitativa e quantitativa, sendo que analisa tanto as experiências subjetivas dos participantes (aspectos qualitativos) quanto os padrões, tendências e relações numéricas (aspectos quantitativos).

A pesquisa se define como um estudo de caso e, que conforme Yacuzzi (2005, p. 9), ele traz a seguinte afirmação: o seu valor reside em que não somente se estuda um evento, mas também o seu contexto.

O estudo de caso foi feito de maneira observacional com os integrantes da empresa, visto que estes tem conhecimento tanto técnico, como também de inspeção em relação ao projeto e foi dividido em 3 fases. Na fase 1, que aconteceu no mês de dezembro de 2022, foi realizado o acompanhamento do processo produtivo a fim de entender o cenário do estudo através dos resultados apresentados nos checklists de inspeção e acompanhamento do processo no chão de fábrica. Após entender o cenário do estudo se iniciou a fase 2, que aconteceu nos meses de janeiro e fevereiro de 2023, onde foi desenvolvido e implementado o plano de ação, conforme tabela 6, a fim de tornar o processo mais eficiente reduzindo o número de defeitos causados no processo de soldagem. Nos meses de março, abril, maio, junho e julho de 2023 aconteceu a implementação da fase 3 do estudo, onde foram avaliados os resultados das ações realizadas através do plano de ação.

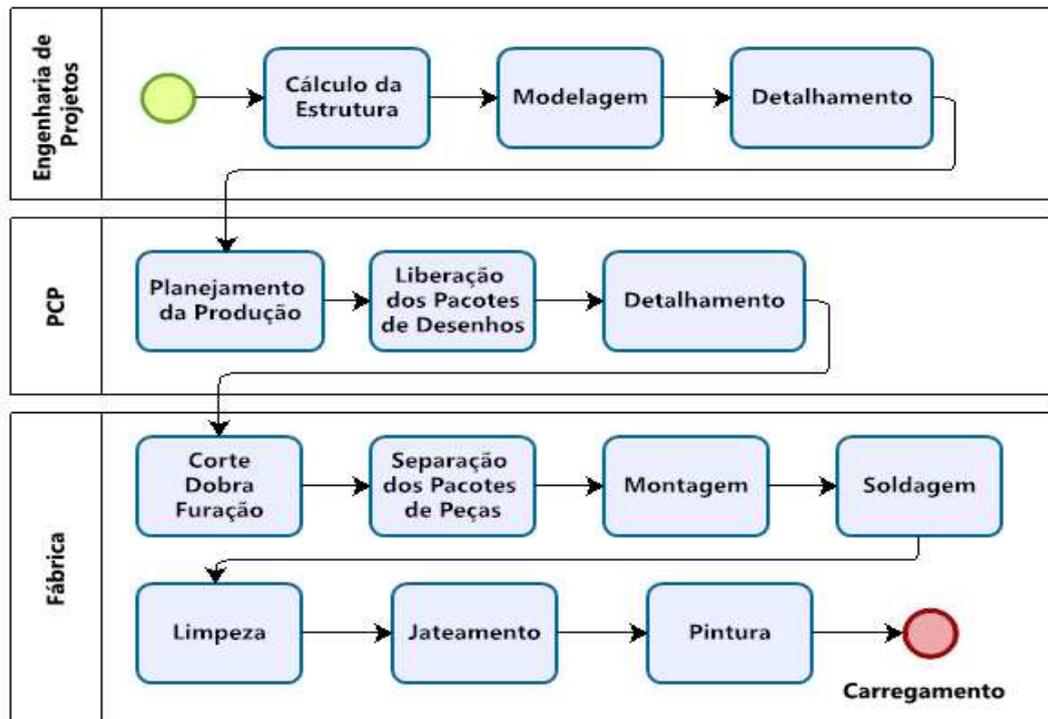
Figura 12 – Fases do Estudo



Fonte: Autor (2023).

Diante da necessidade de um maior controle durante o processo de fabricação das estruturas metálicas, foram implementadas algumas melhorias pela gestão qualidade, principalmente nas etapas de soldagem e limpeza, conforme mostra o macrofluxo na figura 13, para garantir a conformidade das peças fabricadas. Os inspetores da qualidade receberam treinamento para inspeção por ensaios não destrutivos de visual, partículas magnéticas e líquido penetrante, além de instruções sobre o ensaio de ultrassom.

Figura 13 – Macrofluxo de Projeto e Fabricação



Fonte: Autor (2023).

Foi elaborado um *checklist* de inspeção através da plataforma *Microsoft Forms* e o *checklist* foi implementado nos últimos 10 dias do mês de novembro de 2022 para a adaptação dos inspetores com a nova rotina e possibilitar o correto levantamento de dados a partir do mês de dezembro de 2022. Os dados colhidos no mês de novembro foram desconsiderados na elaboração do trabalho.

Os pontos avaliados durante as inspeções estão expostos na Tabela 5 a seguir.

Tabela 5 – Critérios Avaliados

Critérios Avaliados	
Chanfro	É uma forma de aresta angular em um material na região que será soldada
Abertura	É caracterizada pela distância, na raiz da junta, entre as duas peças a serem soldadas.
Perna e Garganta	Perna é caracterizada pela distância da raiz da junta à margem da solda em ângulo e garganta é a altura do maior triângulo inscrito na seção transversal do cordão
Falta de Solda	Ausência do cordão de solda ou parte dele na junta a ser soldada
Deposição Insuficiente	Insuficiência de metal de adição na face da solda

Contorno	Acabamento da solda nas extremidades da região soldada
Desalinhamento	Caracterizado pelo desalinhamento do cordão de solda na junta a ser soldada
Inclusão de Escória	Ocorre quando a escória gerada pelo fluxo do núcleo do arame se funde e é aprisionado dentro da solda
Falta de Fusão	Efeito que acontece quando o metal de solda não se une completamente com o material de base durante a soldagem.
Porosidade	É causada pela expulsão de gases na solda, o que geram bolhas na superfície e na parte interna da solda
Mordedura	Caracterizado como um entalhe no metal de base ao longo das bordas do cordão de solda
Respingo	Metal proveniente do processo de soldagem, derretidos na poça de fusão, que respingam no entorno do cordão de solda
Perfuração	É caracterizado como uma fusão excessiva ou um orifício
Empeno ou Torção	Deformação da peça soldada causado pelo excesso de calor do processo de soldagem
Trincas	Fissura que ocorre na superfície ou na parte interna do cordão de solda
Reforço Excessivo	Excesso de metal da zona fundida, localizado na face da solda

Fonte: Autor (2023).

3.2 Plano de Ação

Com base nos resultados colhidos e avaliados foi elaborado e implementado um plano de ação, descrito na Tabela 6, a fim de tornar o processo de fabricação mais robusto, confiável e consequentemente aumentar a eficiência de fabricação no processo de soldagem.

Tabela 6 – Plano de ação

Plano de Ação				
Status das Atividades				
Desempenho	% Planejado		% Realizado	
100%	100%		100%	
O que?	Por que?	Quem?	Como?	Início Término
Inserir indicações de soldagem em todos os desenhos técnicos	Seguir as considerações realizadas no cálculo da estrutura em conformidade com as normas para soldagem	Coordenador de Engenharia	Revisar os desenhos de fabricação dos meses posteriores já liberados e inserir nos novos	04/01/2023 31/01/2023
Elaborar procedimento de fabricação de estruturas metálicas	Padronizar as etapas fabricação e inspeção das estruturas	Especialista de Processos	Elaborar um procedimento com auxílio da produção, controle da qualidade, engenharia e normas	18/01/2023 25/01/2023
Elaborar lição ponto a ponto de ensaio com líquido penetrante	Padronizar o método de ensaio com líquido penetrante	Especialista de Processos	Elaborar uma LPP com apoio do inspetor de END	30/01/2023 01/02/2023
Elaborar lição ponto a ponto de ensaio com partículas magnéticas (Yoke)	Padronizar o método de ensaio com partículas magnéticas com Yoke	Especialista de Processos	Elaborar uma LPP com apoio do inspetor de END	01/02/2023 03/02/2023
Treinar inspetores, soldadores, serralheiros e auxiliares em leitura e interpretação de desenho técnico (indicações de soldagem)	Desenvolver os colaboradores para a nova informação que será contemplada no desenho técnico	Analista da Qualidade	Elaborar treinamento e aplicar em 4 turmas	06/02/2023 08/02/2023
Elaboração de EPS's MAG com arame sólido 1G, 2G, 3G, 4G, 1F, 2F, 3F e 4F	Padronizar os parâmetros de soldagem	Inspetor de Solda N2	Elaborar documento pré-qualificado seguindo as recomendações da norma	30/01/2023 03/02/2023
Elaboração de EPS's MAG com arame tubular 1G, 2G, 3G, 4G, 1F, 2F, 3F e 4F	Padronizar os parâmetros de soldagem	Inspetor de Solda N2	Elaborar documento pré-qualificado seguindo as recomendações da norma	06/02/2023 10/02/2023
Elaboração de EPS's de eletrodo revestido 1G, 2G, 3G, 4G, 1F, 2F, 3F e 4F	Padronizar os parâmetros de soldagem	Inspetor de Solda N2	Elaborar documento pré-qualificado seguindo as recomendações da norma	13/02/2023 17/02/2023

Treinamento nas EPS's	Desenvolver os conhecimentos dos colaboradores para a execução das especificações do procedimento de soldagem	Inspetor de Solda N2	Apresentar toda a documentação elaborada e realizar a execução prática na fábrica com todos os colaboradores participantes do treinamento	06/02/2023 22/02/2023
Calibração das máquinas de soldagem	Garantir o funcionamento correto das máquinas de soldagem	Inspetor de Solda N2	Realizar a verificação dos parâmetros teóricos x real utilizando alicate volt amperímetro e fluxômetro	30/01/2023 27/02/2023
Testes de qualificação de soldadores	Atestar que os soldadores estão aptos a realizarem soldas com qualidade no chão de fábrica e/ou campo	Inspetor de Solda N2	Realizar a soldagem de um corpo de prova nas posições de execução de soldagem na fábrica e campo	04/01/2023 28/02/2023

Fonte: Autor (2023)

- Indicações de Soldagem:** Após a solicitação que partiu do setor da qualidade para a engenharia, a equipe de engenharia de projetos iniciou a revisão de todos os desenhos que estavam disponíveis para a fábrica para contemplar todas as indicações de soldagem previstas no cálculo da estrutura e também de todos os desenhos que estavam sendo projetados para os meses posteriores que já foram elaborados contemplando as indicações de soldagem.
- Elaborar Procedimento de Fabricação de Estruturas Metálicas:** Em um trabalho realizado entre a produção, controle da qualidade, processos e engenharia foi elaborado um procedimento que trata de todos os processos de fabricação e inspeção das estruturas metálicas onde estão contempladas as solicitações da AWS D1.1 para fabricação de estruturas metálicas e, conforme tabela 7 – Amostragem para ensaios não destrutivos, o plano de amostragem para as inspeções visuais, com partículas magnéticas, líquido penetrante e ultrassom.

Tabela 7 – Amostragem para ensaios não destrutivos

Junta	Espessura	Tipo de Ensaio	Amostragem
Juntas de topo de penetração total	<8mm	Visual	100%
		Partículas magnéticas ou Líquido penetrante	10%
	≥8mm	Visual	100%
		Partículas magnéticas ou Líquido penetrante	10%
		Ultrassom	5%
Juntas de ângulo	Qualquer	Visual	100%
		Partículas magnéticas ou Líquido penetrante	10%

Fonte: Autor (2023)

- **Elaborar lição ponto a ponto de ensaio com líquido penetrante:** O setor de processos juntamente com um inspetor N2 em líquido penetrante executou um ensaio e registrou todas as etapas do processo para a elaboração do documento.
- **Elaborar lição ponto a ponto de ensaio com partículas magnéticas com Yoke:** O setor de processos juntamente com um inspetor nível 2 em partículas magnéticas executou um ensaio e registrou todas as etapas do processo para a elaboração do documento.
- **Treinar inspetores, soldadores, serralheiros e auxiliares em leitura e interpretação de desenho técnico (indicações de soldagem):** O analista da qualidade elaborou um treinamento onde mostra diversas indicações de soldagem e de forma bem explicativa apresentou aos colaboradores da organização.
- **Elaboração das Especificações dos Procedimentos de Soldagem - EPS's:** O inspetor de solda nível 2 realizou a elaboração das documentações pré-qualificadas com base nos tipos de juntas e espessuras que frequentemente são utilizadas no processo.
- **Treinamento nas Especificações dos Procedimentos de Soldagem - EPS's:** O inspetor de solda nível 2 realizou um treinamento teórico com todas as EPS's, explicando todos os parâmetros que devem ser observados, posteriormente levou todos na fábrica para mostrar na prática a execução de alguns tipos de solda seguindo as EPS's.

- **Calibração das máquinas de soldagem:** O inspetor de solda nível 2 realizou a aferição das máquinas de solda a fim de identificar qualquer divergência entre os valores imputados teoricamente e os valores colhidos durante o processo utilizando o alicate volt-ammperímetro para verificar corrente e tensão e o fluxômetro para verificar a vazão do gás de proteção.
- **Testes de qualificação de soldadores:** O inspetor de solda nível 2 realizou os testes de qualificação. No teste foi utilizada uma chapa civil 300 de 10mm de espessura na posição vertical – 3G ascendente. Posteriormente foram realizados os ensaios de visual de solda e dobramento guiado para validação do teste.

3.2. Local do estudo

O local de estudo do presente trabalho foi uma Indústria de Estruturas Metálicas localizada em Eusébio-CE.

3.3. Instrumentos

Checklist de inspeção através da plataforma *Microsoft Forms*, equipamento de END de ultrassom, Yoke para END de partículas magnéticas, cálibre de soldagem e lupa.

3.4. Coleta dos dados

Foi elaborado um *checklist* de inspeção através da plataforma *Microsoft Forms*, onde o inspetor pode acessar o formulário através do celular durante a inspeção e realizar o preenchimento de acordo com o resultado observado durante a inspeção. Após o preenchimento de todas as perguntas, o inspetor conclui a inspeção e envia o relatório que automaticamente alimenta uma planilha em *excel* com os dados da inspeção.

3.5. Análise dos dados

Depois da coleta dos dados, os resultados obtidos foram averiguados e submetidos a tratamento estatístico usando o *Software Microsoft Office Excel 2010*,

onde em seguida foi realizada a tabulação dos dados e a construção de gráficos e tabelas apresentando os dados mais pertinentes identificados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Estudo de Caso

4.1.1. Fase 1 – Entendimento do Cenário do Estudo

Durante todo o mês de dezembro de 2022 a gestão da qualidade esteve focada em tornar o processo de fabricação e inspeção mais robusto e foram identificadas diversas falhas que existiam no processo.

Diante dos pontos observados foram pensadas em estratégias de tornar o processo melhor, sendo elas:

- Elaboração de procedimentos operacionais, instruções de trabalho e lições ponto a ponto;
- Treinamento dos inspetores e toda equipe de liderança nos procedimentos elaborados;
- Elaboração e atualização das EPS's (Especificação do Procedimento de Soldagem) existentes;
- Treinamento dos soldadores e auxiliares em ensaio visual de soldagem, instruções de trabalho e lições ponto a ponto;
- Calibração das máquinas de soldagem;
- Teste de qualificação dos soldadores.

Durante o mês de dezembro foram coletados dados das inspeções realizadas e feito um levantamento para análise. Os dados estão expostos na Tabela 8 a seguir.

Tabela 8 – Inspeções do mês de dezembro de 2022

Dezembro		
Critérios	Reprovações	Percentual de Reprovações
Porosidade	28	5,6%
Respingo	26	5,2%
Empeno ou Torção	21	4,2%
Desalinhamento	21	4,2%
Contorno	14	2,8%
Perfuração	11	2,2%
Mordedura	5	1,0%
Trincas	4	0,8%
Falta de Solda	3	0,6%
Inclusão de Escória	1	0,2%
Chanfro	0	0,0%
Abertura	0	0,0%
Perna e arganta	0	0,0%
Deposição Insuficiente	0	0,0%
Falta de Fusão	0	0,0%
Reforço Excessivo	0	0,0%

Fonte: Autor (2022).

Os dados obtidos foram analisados com a finalidade de apresentar nosso estado atual e a partir disso serem elaborados planos de ação para reduzir o número de reprovações no processo.

Durante todo o mês foram inspecionadas 498 peças, dentre elas 113 peças foram reprovadas gerando um percentual de reprovação de 22,7%. Importante frizar que o número de defeitos encontrados pode ser maior que o número de peças reprovadas por existir a possibilidade de serem encontrados mais de um defeito em uma mesma peça.

Diante dos números apresentados foram pensadas em ações para reduzir o percentual de reprovação das peças.

A primeira ação partiu da necessidade de projetos mais completos e com mais informações. O controle da qualidade solicitou à engenharia de projetos que todos os desenhos de fabricação contemplassem as indicações de soldagem consideradas durante o cálculo da estrutura, trazendo informações relevantes para a fabricação das estruturas.

Com o apoio do setor de processos e de um inspetor de soldagem N2 foram pensados em procedimentos de fabricação e montagem de estruturas metálicas, ensaio não destrutivo visual de solda, ensaio não destrutivo com líquido penetrante e ensaio não destrutivo com partículas magnéticas com técnica *Yoke*.

Durante os meses de janeiro e fevereiro foi desenvolvido e implementado o plano de ação exposto na tabela 6 e novos dados foram colhidos e analisados para acompanhar a evolução dos processos na fábrica.

4.1.2 Fase 2 – Desenvolvimento e Aplicação do Plano de Ação

Em uma ação conjunta dos setores de qualidade, processos, engenharia de projetos, fábrica e um inspetor de solda, foi elaborado e implementado um plano de ação que contempla diversas ações para reduzir o percentual de reprovações nas inspeções de soldagem realizadas na fábrica.

Após a implementação das ações definidas no plano de ação conforme a tabela 6, tivemos os resultados descritos a baixo.

- **Indicações de Soldagem:** No início do mês de janeiro de 2023 cinco projetistas foram dedicados a realizar as revisões nos desenhos de fabricação do mês de janeiro e fevereiro, ao todo 635 desenhos foram revisados para contemplar as indicações de soldagem. Em paralelo a isso, os demais projetos já estavam sendo elaborados contemplando as indicações de soldagem.
- **Elaborar Procedimento de Fabricação de Estruturas Metálicas:** Foi elaborado o procedimento operacional de fabricação e montagem de estruturas metálicas onde foi definido o percentual padrão de inspeções de soldagem realizadas na fábrica, conforme Tabela 7 – Amostragem para ensaios não destrutivos. Com o procedimento foi realizado o treinamento de toda a equipe do controle da qualidade, com 6 inspetores, e da liderança da fábrica, com 8 encarregados de fábrica e 2 coordenadores de produção.
- **Elaborar lição ponto a ponto de ensaio com líquido penetrante:** Foi elaborada a lição ponto a ponto de ensaio não destrutivo com líquido penetrante. Com o procedimento foi realizado o treinamento de toda a equipe de inspetores do controle da qualidade, com um total de 6 inspetores treinados no procedimento.
- **Elaborar lição ponto a ponto de ensaio com partículas magnéticas com Yoke:** Foi elaborada a lição ponto a ponto de ensaio não destrutivo com partículas

magnéticas. Com o procedimento foi realizado o treinamento de toda a equipe de inspetores do controle da qualidade, com um total de 6 inspetores treinados no procedimento.

- **Treinar inspetores, soldadores, serralheiros e auxiliares em leitura e interpretação de desenho técnico (indicações de soldagem):** O treinamento foi aplicado em 4 turmas divididas entre inspetores, soldadores, auxiliares e serralheiros. Ao final do treinamento tivemos um total de 6 inspetores, 20 auxiliares de produção, 25 serralheiros e 30 soldadores treinados.
- **Elaboração das Especificações dos Procedimentos de Soldagem - EPS's:** Foram elaboradas 24 especificações do procedimento de soldagem (EPS) referentes aos processos de soldagem com eletrodo revestido, MAG com arame sólido e MAG com arame tubular.
- **Treinamento nas Especificações dos Procedimentos de Soldagem - EPS's:** O treinamento foi aplicado para duas turmas onde participaram do treinamento 6 inspetores da qualidade e 30 soldadores.
- **Calibração das máquinas de soldagem:** Foi realizada a aferição de 40 máquinas onde 5 foram reprovadas e encaminhadas para a manutenção.
- **Testes de qualificação de soldadores:** 12 soldadores realizaram o teste onde todos foram aprovados. Os demais 18 soldadores que já possuíam qualificação passaram por testes de processo com a inspeção com ensaio de ultrassom de uma solda realizada para revalidar a qualificação.

Nos meses de desenvolvimento e aplicação do plano de ação novos dados de acompanhamento do processo foram colhidos e estão expostos na tabela 9 a seguir.

Tabela 9 – Inspeções dos meses de janeiro e fevereiro de 2023

Critérios	Janeiro		Fevereiro	
	Reprovações	Percentual de Reprovações	Reprovações	Percentual de Reprovações
Chanfro	4	4,2%	4	9,1%
Perfuração	19	5,5%	12	2,5%
Respingo	16	4,6%	14	2,9%
Abertura	2	1,8%	3	4,2%
Falta de Solda	11	3,2%	7	1,5%
Porosidade	9	2,6%	9	1,9%
Mordedura	7	2,0%	10	2,1%
Falta de Fusão	4	1,1%	12	2,5%
Trincas	9	2,6%	5	1,0%
Contorno	3	0,9%	12	2,5%
Perna e Garganta	2	0,6%	11	2,3%
Inclusão de Escória	7	2,0%	4	0,8%
Reforço Excessivo	4	1,1%	6	1,3%
Empeno ou Torção	3	0,9%	5	1,0%
Deposição Insuficiente	3	0,9%	3	0,6%
Desalinhamento	1	0,3%	3	0,6%

Fonte: Autor (2023).

Analisando os resultados coletados com as inspeções realizadas durante os meses de dezembro, janeiro e fevereiro identificamos uma tendência de problemas relacionados à habilidade do soldador, possíveis contaminantes que podem gerar porosidades e problemas relacionados a falta de conhecimento para leitura e interpretação das EPS's e indicações de soldagem.

No mês de janeiro tivemos um total de 348 peças inspecionadas, dentre elas 85 foram reprovadas gerando um percentual de reprovação de 24,4%. Já no mês de fevereiro de um total de 501 peças inspecionadas 110 foram reprovadas no processo gerando um percentual de reprovação de 22,0%.

Os dados obtidos foram levados e discutidos com líderes das equipes e coordenador da operação de soldagem na fábrica, com a finalidade de apresentar a eficiência atual do processo.

As solicitações de indicações de soldagem foram atendidas e evidencia que as equipes não estavam devidamente preparadas para realizar a leitura e interpretação das representações de soldagem inseridas nos desenhos de fabricação. Os números

de reprovações por chanfro e abertura aumentaram muito durante esses meses, o que demonstra o despreparo da equipe diante da solicitação.

As ações foram todas implementadas durante a fase 2 do estudo e durante a fase 3 novos dados foram colhidos e analisados para acompanhar a evolução dos processos na fábrica.

4.1.3 Fase 3 – Avaliação dos Resultados das Ações

Os dados colhidos durante os meses de março e abril da fase 3 estão expostos na Tabela 10 a seguir.

Tabela 10 – Inspeções dos meses de março e abril de 2023

Critérios	Março		Abril	
	Reprovações	Percentual de Reprovações	Reprovações	Percentual de Reprovações
Falta de Solda	9	2,7%	10	3,2%
Respingo	10	3,0%	8	2,6%
Mordedura	12	3,6%	1	0,3%
Porosidade	9	2,7%	1	0,3%
Inclusão de Escória	8	2,4%	2	0,6%
Trincas	5	1,5%	4	1,3%
Perfuração	4	1,2%	3	1,0%
Contorno	3	0,9%	2	0,6%
Empeno ou Torção	5	1,5%	0	0,0%
Deposição Insuficiente	4	1,2%	0	0,0%
Falta de Fusão	3	0,9%	0	0,0%
Perna e Garganta	2	0,6%	1	0,3%
Desalinhamento	3	0,9%	0	0,0%
Chanfro	0	0,0%	0	0,0%
Abertura	0	0,0%	0	0,0%
Reforço Excessivo	0	0,0%	0	0,0%

Fonte: Autor (2023)

Analisando os resultados coletados com as inspeções realizadas durante os meses de março e abril já conseguimos identificar uma melhora significativa do número de reprovações no processo. No mês de março tivemos um total de 331 peças inspecionadas, dentre elas 53 foram reprovadas gerando um percentual de

reprovação de 16,0%. Já no mês de abril de um total de 315 peças inspecionadas 28 foram reprovadas no processo gerando um percentual de reprovação de 8,9%.

Nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro tivemos uma média de 23% de reprovações do total de peças inspecionadas no período, já nos meses de março e abril esse número médio caiu para 12,5%, uma melhora de 45,6% no percentual de reprovações quando comparamos os dois períodos.

Seguimos com o estudo e durante os meses de maio, junho e julho novos dados foram colhidos e analisados para acompanhar a evolução das ações implementadas. Os dados estão expostos na Tabela 11.

Tabela 11 – Inspeções dos meses de maio, junho e julho de 2023

Critérios	Maio		Junho		Julho	
	Reprovações	Percentual de Reprovações	Reprovações	Percentual de Reprovações	Reprovações	Percentual de Reprovações
Respingo	14	3,9%	27	4,9%	11	1,9%
Mordedura	16	4,4%	13	2,4%	8	1,4%
Contorno	9	2,5%	12	2,2%	8	1,4%
Perna e Garganta	5	1,4%	14	2,6%	9	1,6%
Porosidade	7	1,9%	4	0,7%	4	0,7%
Falta de Solda	4	1,1%	8	1,5%	5	0,9%
Chanfro	1	3,2%	0	0,0%	0	0,0%
Perfuração	4	1,1%	4	0,7%	6	1,1%
Deposição Insuficiente	5	1,4%	2	0,4%	4	0,7%
Reforço Excessivo	3	0,8%	1	0,2%	3	0,5%
Abertura	1	1,3%	0	0,0%	0	0,0%
Desalinhamento	1	0,3%	3	0,5%	2	0,4%
Empeno ou Torção	2	0,6%	1	0,2%	1	0,2%

Falta de Fusão	2	0,6%	1	0,2%	0	0,0%
Inclusão de Escória	0	0,0%	2	0,4%	1	0,2%
Trincas	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%

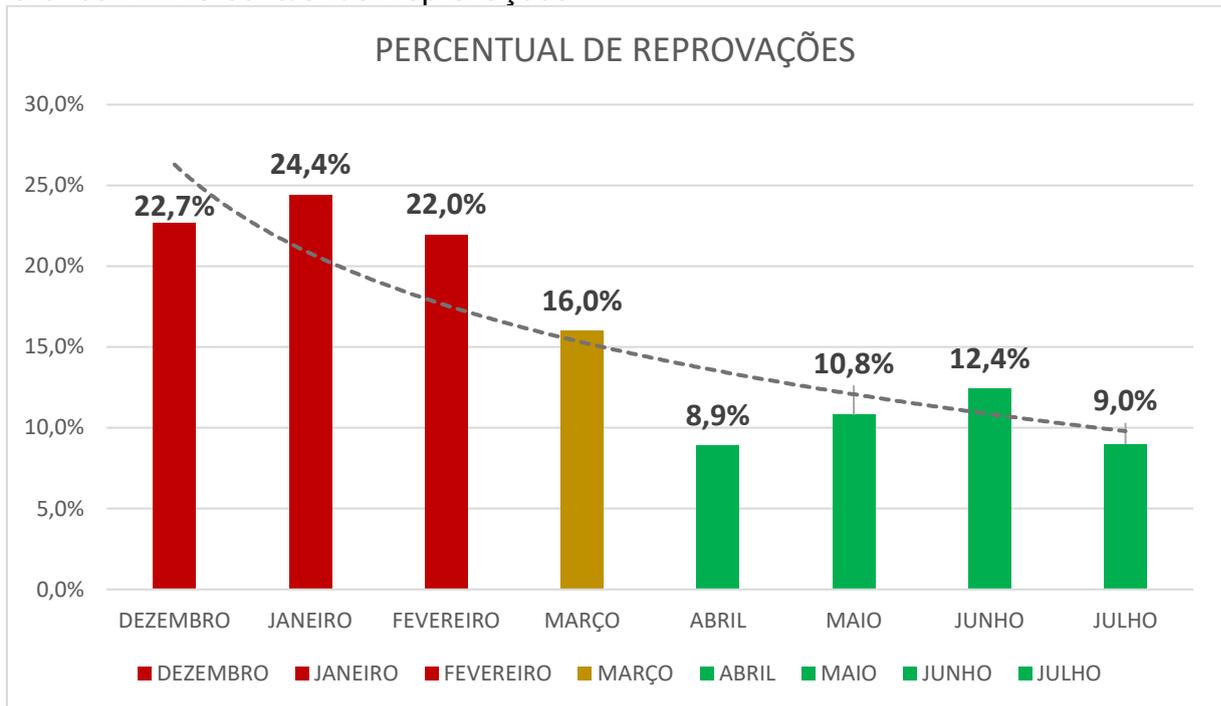
Fonte: Autor (2023).

Avaliando os resultados do mês de maio, de um total de 361 peças inspecionadas tivemos 39 reprovadas e um percentual de reprovação de 10,8%. No mês de junho, de um total de 547 peças inspecionadas 68 foram reprovadas e tivemos um percentual de reprovação de 12,4%. No mês de julho de 567 peças inspecionadas 51 foram reprovadas e tivemos um percentual de reprovações de 9,0%.

Com os resultados conseguimos identificar uma estabilização do processo, em que mantivemos o percentual de peças reprovadas dentro de uma margem aceitável para o processo. Nesse período tivemos uma média de 10,7% de reprovações do total de peças inspecionadas nos evidenciando que a partir do mês de março iniciamos uma redução do número de peças reprovadas, isso se deu por conta das ações implementadas durante os meses de janeiro e fevereiro através do plano de ação elaborado. As ações começaram a trazer resultados satisfatórios a partir do mês de março iniciando uma redução de aproximadamente 27% no percentual de reprovações quando comparado com o mês de fevereiro.

Abaixo temos um gráfico que representa os números percentuais de reprovações durante os meses de realização do estudo.

Gráfico 1 – Percentual de Reprovações



Fonte: Autor (2023).

O Gráfico 1 mostra através de uma representação de barras os números percentuais de reprovações por mês evidenciando a melhoria no processo desde a implantação das melhorias propostas no plano de ação, que aconteceu na fase 2, até o fim do estudo que se deu no ultimo dia do mês de julho.

Realizando uma comparação entre o mês de maior índice de reprovações, que foi o mês de janeiro de 2023, com 24,4% de peças reprovadas e o menor índice de peças reprovadas, que aconteceu no mês de abril, com 8,9% de peças reprovadas tivemos uma melhora de 63,5%.

Durante as fases 1 e 2 temos uma média de reprovações de 23%, já na fase 3 temos uma média de 11,4%. Realizando uma comparação das médias de percentuais de reprovações das fases 1 e 2 com as médias da fase 3 temos uma redução de 50% no percentual médio de reprovações.

4.2 Principais defeitos encontrados durante toda a pesquisa

Tabela 12 – Principais defeitos encontrados durante toda a pesquisa.

Critérios	Total de Reprovações	Total de Inspeções	Percentual de Reprovações
Respingo	126	3446	3,66%
Mordedura	72	3446	2,09%
Porosidade	71	3446	2,06%
Perfuração	63	3446	1,83%
Contorno	63	3446	1,83%
Falta de Solda	57	3446	1,65%
Perna e Garganta	44	3446	1,28%
Trincas	27	3446	0,78%

Fonte: Autor (2023).

Conforme mostrado na Tabela 12 – Principais defeitos encontrados durante toda a pesquisa, fica evidente que a principal problemática está na habilidade do soldador para executar a operação de soldagem e com a correta regulagem dos parâmetros da máquina durante o processo de soldagem. Como são realizadas soldagens em materiais com espessuras que variam bastante, os soldadores utilizam correntes, tensões e velocidades de avanço do arame muito altas a fim de tornar o processo de soldagem mais rápido e prático, mas não se atentam aos diversos problemas que essa prática traz, sendo eles respingos, perfurações e mordeduras.

As porosidades podem ser causadas devido aos contaminantes existentes nas peças como oxidações superficiais, óleos, graxas e até mesmo escórias de ponteamto com eletrodo revestido. Outro agravante é o fato de o galpão de soldagem não ser protegido de ventos que incidem sobre as peças durante o processo de soldagem.

Em suma pode-se identificar que em torno da análise feita durante a pesquisa é preciso trabalhar preferencialmente em torno da qualificação dos profissionais para a execução correta da operação, manuseio dos equipamentos e limpeza dos materiais, evidenciando o quanto se faz importante que tenha uma cautela em torno dessa situação para que assim hajam a redução de falhas, prejuízos e gastos futuros.

As ações implementadas foram de grande importância para a redução dos problemas apresentados e a constante melhora torna o processo mais robusto e confiável.

5. CONCLUSÃO

A partir do estudo realizado pode-se compreender o quanto a inspeção da qualidade influencia de uma forma satisfatória no processo de soldagem, pois através desse tipo de técnica se consegue identificar falhas e colocar em prática procedimentos que visam reduzir problemas já existentes e futuros de uma certa forma.

A elaboração dos procedimentos contribuiu de forma muito positiva para qualificar os profissionais da organização e para a criação de uma rotina de treinamentos e testes que são aplicados aos novos colaboradores com os procedimentos que devem ser seguidos.

O estudo alcançou seu objetivo principal onde conseguimos trazer uma melhora significativa da eficiência do processo que entre as fases 1 e 2 possuía uma média de 77% e na fase 3 passou a ter uma eficiência de 88,6%. O aumento no número de peças aprovadas trouxe um ganho no número de peças fabricadas onde anteriormente tínhamos um tempo muito grande de retrabalho quando uma peça era reprovada e com a diminuição do número de peças reprovadas esse tempo de retrabalho foi convertido em produtividade da linha de produção.

Dessa forma, entende-se o quanto é fundamental que as empresas tenham profissionais qualificados identificando antecipadamente determinadas situações que podem causar diversos prejuízos que em alguns casos podem ser irreversíveis e trazer grandes danos para todos os envolvidos.

Em suma a pesquisa mostrou o quanto a inspeção da qualidade realizada da forma correta e o trabalho em conjunto com outras áreas agrega para o futuro de uma empresa, traz melhorias e mudanças que precisam ser feitas para trazer bons resultados.

REFERÊNCIAS

AWS D1.1/D1.1M, **Structural Welding Code – Steel**. Miami, FL, 2020.

ANDREUCCI, R. **Ensaio por Ultrassom**. ABENDE, 2008.

APERAN. **Soldagem - Processos: Eletrodo Revestido e TIG, MIG e Resistência Elétrica**. Cadernos Técnicos, v. 2, 2020. Disponível em: <https://www.aperamservicos.com.br/wp-content/uploads/2020/09/Caderno2.pdf>. Acesso em: 19 dez. 2022.

BANDUELLE, G.M. **Inspeção de Qualidade**. Aula 7, 2015. Disponível em: <http://www.engenhariaflorestal.ufpr.br/disciplinas/AT123/AULA7%20INSPE%C3%87%C3%83O%20DA%20QUALIDADE.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2022.

CAMARGO, R.L.; FERREIRA, A.; PORCIÚNCULA, G.S. **Controle de Qualidade e Análise de Falhas de Soldas de Estruturas Metálicas na Indústria Offshore**. Revista Espacios, v. 38, n. 21, p. 37, 2017.

CAMPOS, L.N. **Controle de qualidade nos parâmetros de soldagem tig (gtaw) na fabricação de peças em aço inoxidável**. 2018. 27 F. Monografia (Especialização em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2018.

CARELI, F. P. L.; RODRIGUEZ, C. M. T.; RÔA, L. M. **Proposta de adequação do processo de inspeção com base nos conceitos do lean manufacturing: estudo de caso em um fabricante de equipamentos agrícolas**. Journal of Lean Systems, 2016, v. 1, n.4, p. 66-86, 2016.

CASAGRANDE, B.A.S. **Segurança nos processos de soldagens**. Universidade de Taubaté, Monografia, [Especialização de Engenharia de Segurança do Trabalho do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental], Taubaté, 2009. Disponível em: <http://repositorio.unitau.br/jspui/bitstream/20.500.11874/4314/1/Monografia%20Bruno%20Alexandre%20Santos%20Casagrande.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2023.

COELHO, C. F.; JUNIOR, L. P. B. **O monitoramento da Soldagem como Controle da Qualidade na Indústria Naval**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense. Campos dos Goytacazes – RJ, 2015.

COSTA, A.F.B.; EPPRECHT, E.K.; CARPINETTI, L.C.R. **Controle estatístico de qualidade**. S. Paulo: Atlas, 2004.

COSTA, P.S.M.L. **A qualidade: evolução do conceito**. IPP, 2013. Disponível em: https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/2134/1/PP_PaulaLemosCosta_2013.pdf. Acesso em: 22 jan. 2023.

FARDIM, H.D.; MOACYR JUNIOR, R. **Acompanhamento da utilização e do controle de qualidade das soldas na construção e montagem de pontes metálicas**. Universidade Federal do Espírito Santo, Trabalho de Conclusão de

Curso, [Pós-graduação – Lato Sensu, em Engenharia de Campo do Centro Tecnológico], Vitória, 2009. Disponível em: <https://mecanica.ufes.br/sites/engenhariamecanica.ufes.br/files/field/anexo/henrique.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2023.

FELIZARDO, I. **Apostila - tecnologia da soldagem**. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET, 2016. Disponível em: <https://www.dem.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/39/2017/09/Apostila-Tecnologia-da-Soldagem.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2023.

GANGA, G. M. **Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) na engenharia de produção: um guia prático de conteúdo e forma**. São Paulo: Atlas, 2012.

MODENESI, P.J. **Normas e Qualificação em soldagem**, UFMG, 2000.

MONTGOMERY, D.C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. 4 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

NASCIMENTO, R.S.; SILVA, L.C. **Qualidade na Soldagem em uma Empresa Fabricante de Estruturas Metálicas Soldadas do Setor de Óleo e Gás**. VI Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Niterói, RJ, Brasil 5, 6 e 7 de agosto de 2010.

NBR 5426. **Planos de Amostragem e procedimentos na inspeção por atributos**. Rio de Janeiro 1985.

PALADINI, E.P. **Qualidade total na prática: implantação e avaliação de sistema de qualidade total**. São Paulo: Atlas, 1997.

SGS (2019). **3 tipos de inspeção de qualidade para empresas**. Disponível em: <https://www.sgsgroup.com.br/pt-br/news/2019/12/inspecao-de-qualidade#:~:text=A%20inspe%C3%A7%C3%A3o%20de%20qualidade%20%C3%A9,conformidade%20%C3%A9%20alcan%C3%A7ada%20ou%20n%C3%A3o>. Acesso em: 23 dez. 2022.

SHIROSE, I. **Controle Estatístico de Qualidade: Inspeção de lotes por amostragem e por atributos**, Secretaria de Agricultura e Abastecimento, Governo do Estado de São Paulo, Campinas, 1981.

SILVA, L.H. **Defeitos de soldagem em materiais metálicos**. Curso Superior em Tecnologia Mecânica, Núcleo De Pesquisas Em Tecnologia Da Soldagem (NUPETS), dezembro, 2018. Disponível em: http://www.fatecsorocaba.edu.br/nucleos/NUPETS/DEFEITOS%20DE%20SOLDAGEM%20EM%20MATERIAIS%20MET-LICOS%20_%20Lucas%20Henrique_2018.pdf. Acesso em: 23 ago. 2023.

ZU, X. **Infrastructure and core quality management practices: how do they affect quality?** International Journal of Quality & Reliability Management, v. 26, n. 2, p. 129-149, 2009. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/304571075_Infrastructure_and_Core_Quality_Management_Practices_in_Higher_Education_Performance. Acesso em: 23 ago. 2023.

YACUZZI, E. **El estudio de caso como metodología de investigación: teoría, mecanismos causales, validación.** Serie Documentos de Trabajo, 2005.