

Universidade Federal de Minas Gerais
Departamento de Engenharia Mecânica

ALEX BATISTA DA SILVA

PRODUTIVIDADE EM SOLDAGEM DE TUBULAÇÃO INDUSTRIAL:
Análise Comparativa de Desempenho do Processo de Soldagem
Mecanizado e Processo de Soldagem Manual

BELO HORIZONTE
DEZEMBRO - 2014

Universidade Federal de Minas Gerais
Departamento de Engenharia Mecânica
Especialização em Engenharia de Soldagem

**PRODUTIVIDADE EM SOLDAGEM DE TUBULAÇÃO
INDUSTRIAL: Análise Comparativa de Desempenho do
Processo de Soldagem Mecanizado e Processo de
Soldagem Manual**

Por

Alex Batista da Silva

Monografia de Final de Curso

Professor Dr. Paulo Villani Marques
Orientador

**BELO HORIZONTE
DEZEMBRO - 2014**

ALEX BATISTA DA SILVA

PRODUTIVIDADE EM SOLDAGEM DE TUBULAÇÃO INDUSTRIAL:
Análise Comparativa de Desempenho do Processo de Soldagem
Mecanizado e Processo de Soldagem Manual

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Engenharia de Soldagem da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito para obtenção do título de Especialista em Engenharia de Soldagem.

Área de Concentração: Especialização em
Engenharia de Soldagem

Orientador: Prof. Dr. Paulo Villani Marques

BELO HORIZONTE

DEZEMBRO - 2014

Silva, Alex Batista da
PRODUTIVIDADE EM SOLDAGEM DE TUBULAÇÃO INDUSTRIAL: Análise Comparativa de Desempenho do Processo de Soldagem Mecanizado e Processo de Soldagem Manual / Alex Batista da Silva. – 2014.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Villani Marques
Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais.
Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Soldagem – Monografias. 2. Produtividade – Monografias. 3. Desempenho – Monografias. 4. Soldagem Mecanizada – Monografias. I. Marques, Paulo Villani. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Engenharia Mecânica. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiro a Deus pela inspiração e motivação para a realização deste curso e sua conclusão com sucesso.

Aos meus familiares, amigos, colegas de trabalho e professores que direta ou indiretamente tornaram possível a conclusão deste trabalho.

Em especial, ao Professor Dr. Alexandre Queiroz Bracarense pela criação e motivação de todos para que o curso de Especialização em Engenharia de Soldagem tornasse uma realidade na UFMG.

Ao meu orientador, Professor Dr. Paulo Villani Marques pela pronta disposição e interesse pelo tema proposto e o apoio durante todo o seu desenvolvimento.

À equipe de Execução e Soldagem da Montadora, que foi objeto deste estudo, pela receptividade e disponibilidade em apoiar com as informações necessárias para a concretização deste trabalho.

Enfim, agradeço a todos que de alguma maneira colaboraram para realização desse trabalho.

“Para tudo há uma ocasião certa;
há um tempo certo para cada propósito
debaixo do céu.”

Eclesiastes 3:1

RESUMO

Os desafios enfrentados pelas organizações neste século, requerem de seus gestores a implementação de modelos de produção, que sejam produtivos e que promovam a competitividade e perenidade do negócio. Diante do exposto a automação dos processos de soldagem combinada com o uso de processos tradicionalmente mais produtivos, como o *Flux cored Arc Welding* (FCAW), na indústria de construção e montagem, apresenta-se como uma importante via para maximizar a produtividade. É nesse contexto que o presente trabalho se propõe, avaliar a variação da produtividade com a implantação do processo mecanizado de soldagem – FCAW em comparação com o processo de soldagem *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) – manual. No referencial teórico foram abordados temas necessários a compreensão do estudo como definição e histórico da soldagem, processos de soldagem e suas características, tubulação industrial, automação em soldagem e produtividade em soldagem. Quanto à metodologia, trata-se de uma pesquisa descritiva, quantitativa, que quanto aos meios e fins faz uso da pesquisa de campo e estudo de caso. A técnica amostral utilizada foi a não probabilística por tipicidade. Durante a coleta de dados foi realizada uma avaliação dos dados de produtividade da soldagem das juntas com os processos SMAW – Manual e FCAW – Mecanizado. Esta análise permitiu ao autor confirmar a capacidade produtiva dos processos analisados, mas também ponderar quanto a importância da combinação desses processos na execução dos projetos pela indústria de construção e montagem industrial, como a alternativa mais adequada para maximizar a produtividade dos processos de soldagem e por consequência da montagem industrial.

Palavras Chaves: Soldagem. Automação. Mecanização. Tubulação Industrial. Produtividade.

ABSTRACT

The challenges faced by organizations this century require from their managers the implementation of production models which are productive and which promote the competitiveness and continuity of the business. In light of the foregoing, the automation of the welding processes combined with the use of traditionally more productive processes, such as the Flux cored Arc Welding (FCAW), in the construction and assembly industry, presents itself as an important way of maximizing productivity. It is in this context that this paper is written, assessing the variation of the productivity with the implementation of the welding mechanized process – FCAW compared to the welding process called Shielded Metal Arc Welding (SMAW) – which is manual. On the theoretical frame of reference it is able to find themes necessary for the comprehension of the study as definition and welding record, automaton in welding and productivity in welding. As for the methodology, this is a descriptive and quantitative research which, though its means and ends, uses field research and case study. The used sample technique was the non-probabilistic by typicality. During the data collection there was an assessment of the data of productivity in welding of the junctions with the SMAW processes – manual and FCAW – mechanized. Such analysis allowed the author to assure the productive capacity of the analyzed processes, and also to ponder as for the importance of the combination of these processes in the execution of the projects by the construction and assembly industry as the most adequate alternative to maximize the productivity of the welding processes and, therefore, industrial assembly processes.

Keywords: Welding. Automation. Mechanization. Industrial Pipe. Productivity.

LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 – Histórico da Soldagem	18
Figura 1 – Processos de Soldagem (Classificação AWS)	19
Quadro 2 – Processos de Soldagem (Classificação ISO)	20
Figura 2 – Desenho Esquemático Processo SMAW	22
Figura 3 – Desenho Esquemático Equipamentos - SMAW	23
Quadro 3 – Vantagens e Limitações do Processo SMAW	24
Figura 4 – Desenho Esquemático Processo de Soldagem - FCAW	25
Figura 5 – Desenho Esquemático Equipamentos - FCAW	27
Quadro 4 – Vantagens e Limitações do Processo FCAW	28
Figura 6 – Desenho Esquemático Processo de Soldagem - GTAW	29
Figura 7 – Desenho Esquemático Equipamentos - GTAW	30
Quadro 5 – Vantagens e Limitações do Processo GTAW	31
Figura 8 – Tubulação Industrial	32
Figura 9 – Fluxograma Montagem Tubulação Industrial	35
Quadro 6 – Tipos de Operação de Soldagem, segundo a AWS	36
Figura 10 – Soldagem Mecanizada – Sistema Orbital	37
Figura 11 – Equipamento de Soldagem Mecanizada - PIPE KAT®	38
Quadro 7 – Indicadores de Produtividade em Soldagem	41
Gráfico 1 – Indicadores de Produtividade – Processo SMAW	49
Gráfico 2 – Indicadores de Produtividade – Processo FCAW	51

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AWS - American Welding Society

CO₂ - Dióxido de Carbono

EUA – Estados Unidos da América

FCAW - Flux Cored Arc Welding

GMAW - Gas Metal Arc Welding

GTAW - Gas Tungsten Arc Welding

ISO - International Standardization Organization

MIG – Metal Inert Gas

MAG – Metal Active Gas

SAW - Submerged Arc Welding

SMAW - Shielded Metal Arc Welding

TIG - Tungsten Inert Gas

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Contexto do Problema	13
1.2	Problema de Pesquisa.....	13
1.3	Objetivos.....	14
1.3.1	Objetivo Geral.....	14
1.3.2	Objetivos Específicos.....	14
1.4	Justificativa	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	Definição de soldagem	16
2.2	Breve Histórico da Soldagem.....	16
2.3	Processos de Soldagem	18
2.3.1	Processo SMAW	21
2.3.1.1	Características do Processo SMAW – Consumíveis e Equipamentos...22	
2.3.2	Processo FCAW	25
2.3.2.1	Características do Processo FCAW – Consumíveis e Equipamentos ...26	
2.3.3	Processo GTAW	28
2.3.3.1	Características do Processo GTAW – Consumíveis e Equipamentos ...29	
2.4	Tubulação Industrial.....	32
2.4.1	Montagem de Tubulação Industrial.....	34
2.5	Automação em Soldagem.....	35
2.5.1	Mecanização em Soldagem.....	37
2.6	Produtividade.....	39
2.6.1	Produtividade em Soldagem.....	40
3	METODOLOGIA DE PESQUISA	42
3.1	O Que é Pesquisa.....	42
3.2	Classificação da Pesquisa	42
3.2.1	Pesquisas Quanto à Natureza	42
3.2.2	Pesquisas Quanto à forma de abordagem	42
3.2.3	Pesquisas Quanto aos fins	43
3.2.4	Pesquisas Quanto aos Meios	44
3.3	Universo e Amostra	45
3.4	Caracterização da Empresa em Estudo e da Amostra	47

3.5	Formas de Coleta e Análise dos Dados.....	47
3.6	Limitações da Pesquisa	48
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	49
4.1	Definição da Amostra das Juntas	49
4.2	Indicador de Produtividade da Soldagem SMAW - Manual	49
4.3	Indicador de Produtividade da Soldagem FCAW – Mecanizado	51
4.4	Comparação e Discussão dos Indicadores de Produtividade	53
5	CONCLUSÕES.....	55
	REFERÊNCIAS.....	57
	APÊNDICE A – Formulário Acompanhamento Processo de Soldagem - FCAW.	59
	APÊNDICE B – Formulário Acompanhamento Processo de Soldagem – SMAW	61
	ANEXO A – Especificação do Processo de Soldagem – SMAW - Manual	63
	ANEXO B – Especificação do Processo de Soldagem – FCAW - Mecanizado ...	65

1 INTRODUÇÃO

Os desafios que se apresentam às organizações do século XXI requerem de seus gestores a implementação de modelos de produção que sejam capazes de otimizar a utilização dos recursos e promover a obtenção de resultados que garantam a competitividade e perenidade do seu negócio.

Considerando essa premissa, a produtividade apresenta-se, como nunca antes, como uma via inevitável para as organizações que têm como objetivo manter-se neste mercado globalizado, onde a produtividade é fundamental para a obtenção de produtos mais competitivos.

Neste contexto, como um dos principais processos na indústria de construção e montagem, a soldagem, requer das empresas e de seus engenheiros uma avaliação profunda, no sentido de buscar alternativas para que possa ser obtida a maior produtividade, sem contudo comprometer os requisitos de qualidade inerentes ao produto.

A automação dos processos de soldagem vem apresentando excelentes resultados, principalmente quando combinados com processos de soldagem tradicionalmente mais produtivos, como *Flux Cored Arc Welding* (FCAW) e o *Gas Metal Arc Welding* (GMAW). Essa combinação vem proporcionando à indústria da construção e montagem uma melhoria significativa em seus índices de produtividade.

Neste trabalho, será analisado o ganho em produtividade obtido por uma empresa de construção e montagem industrial com a mecanização do processo de soldagem de tubulações em comparação com o processo manual de soldagem. A perspectiva é que o produto deste estudo seja um referencial de análise para a comunidade acadêmica e para a engenharia de soldagem na tomada de decisão quanto a automação de processos de soldagem.

1.1 Contexto do Problema

Face ao ambiente organizacional globalizado e competitivo vivenciado pelas organizações, é de fundamental importância a implementação de um modelo de produção capaz de maximizar a sua capacidade produtiva, para que possa obter índices de produtividade que contribuam para competitividade e sustentabilidade do negócio.

Neste contexto, é primordial que a empresa, por meio do seu corpo técnico e gerencial, avalie os seus processos produtivos e implementem melhorias que tragam esse aumento de produtividade, tão discutida e buscada pelas organizações neste início de século, que requer de todos a urgência de serem competitivos.

Diante do exposto, a busca pela automação demonstra ser uma importante alternativa para melhoria da produtividade, e por consequência da competitividade das organizações. Nas empresas de construção e montagem, um importante processo para ser investido é o de soldagem, o qual requer uma análise profunda para que possa ser incorporada a este, a automação, como via de ampliação da produtividade em soldagem.

A mecanização é uma tecnologia nova que vem sendo utilizada pela indústria de construção e montagem como alternativa para melhoria da produtividade em soldagem de tubulações, como alternativa aos processos tradicionalmente manuais.

1.2 Problema de Pesquisa

Como varia a produtividade do processo mecanizado de soldagem – *Flux Cored Arc Welding* (FCAW) em comparação com o processo de soldagem manual – *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW), na soldagem de tubulações industriais?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Realizar um estudo comparativo da produtividade entre o processo mecanizado de soldagem - FCAW e o processo manual de soldagem - SMAW, na soldagem de tubulações industriais.

1.3.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos têm-se:

- 1) Definir a amostragem de juntas a serem consideradas neste estudo;
- 2) Estimar um indicador de produtividade para o processo manual SMAW, utilizado pela organização que é objeto deste estudo;
- 3) Estimar um indicador de produtividade para o processo mecanizado FCAW, implementado pela organização que é objeto deste estudo;
- 4) Realizar a análise da variação da produtividade obtida com os processos: Manual – SMAW e Mecanizado – FCAW, na soldagem de tubulações industriais.

1.4 Justificativa

Com a crescente competição do mercado e a exigência cada vez maior por produtos com menor custo e maior qualidade, as empresas precisam adotar alternativas, processos produtivos capazes de posicioná-las competitivamente neste mercado.

Neste cenário, a mecanização do processo de soldagem apresenta-se como uma importante via para a maximização da produtividade, e de forma específica neste estudo, para a soldagem de tubulações industriais, na indústria da construção e montagem, tendo em vista o aumento da demanda em função do momento em que vive o Brasil, que é de grande crescimento, promovido pelas grandes obras de

infraestrutura e ampliação do parque industrial que estão em andamento por todo o País.

Diante do exposto, este estudo torna-se relevante para a sociedade, pois irá permitir aumentar o conhecimento sobre as mais modernas tecnologias que vem sendo utilizadas pela indústria da construção e montagem, no esforço de torná-las mais produtivas e desta forma permitir oferecer um produto competitivo e de qualidade para a sociedade, contribuindo para o desenvolvimento social e econômico do País.

Para a empresa selecionada para o estudo, este trabalho irá oferecer resultados que permitirão direcionar com maior segurança a tomada de decisão quanto a investimentos na automação de seu processo de soldagem.

Este estudo se justifica para a comunidade acadêmica da Engenharia de Soldagem, por apresentar um instrumento de análise da produtividade obtida com a implementação da automação do processo de soldagem FCAW de juntas de tubulação em contraponto ao método tradicional de soldagem manual com o processo SMAW. Este conhecimento é requerido pelos profissionais de Engenharia de Soldagem para subsidiar as organizações na tomada de decisão quanto a investimentos e melhorias a serem aplicadas em seus processos de soldagem.

Para o pesquisador, irá permitir o aprofundamento no estudo do processo de fabricação e montagem de tubulação industrial e permitir confirmar com resultados práticos a viabilidade da mecanização deste tipo de soldagem, como alternativa para maximizar os índices de produtividade.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Definição de soldagem

Como definir soldagem com um único conceito? Inicia-se essa revisão bibliográfica com este questionamento, tendo em vista que a literatura e diversos especialistas apresentam uma série de definições sobre um dos principais métodos de união de metais.

Segundo *American Welding Society (AWS)* (2001) a soldagem é um processo com fins de obter a união localizada entre metais e não-metais, por meio do aquecimento até uma determinada temperatura, com uso de pressão ou não e com uso de metal de adição ou não.

A Petrobras em sua norma N-1438 (2008, p.17) corrobora com a AWS definindo soldagem como “Método utilizado para unir materiais por meio de solda”, sendo solda definida, de acordo com a N-1438 (2008, p.15) como “união (coalescência) localizada de metais ou não-metais, produzida pelo aquecimento dos materiais à temperatura de soldagem, com ou sem aplicação de pressão, ou pela aplicação de pressão apenas, e com ou sem o uso de metal de adição.”

Para Marques et al (2013, p.18) soldagem é “Processo de união de materiais baseado no estabelecimento de forças de ligação de natureza similar às atuantes no interior dos próprios materiais, na região de ligação entre os materiais que estão sendo unidos.”

Neste estudo será adotado como conceito de soldagem, “processo que busca estabelecer a união de metais por fusão, obtendo na junta soldada a continuidade das propriedades físicas e químicas do ou dos materiais que estão sendo unidos”.

2.2 Breve Histórico da Soldagem

Apesar do método atual de soldagem que conhecemos ter sido desenvolvido a pouco mais de 100 anos, a literatura especializada e achados históricos comprovam

que a soldagem, em suas variações, a saber, brasagem e soldagem por forjamento, vem sendo utilizadas desde 4000 anos a.C.

De acordo com Marques et al (2013), a soldagem por forjamento era um dos principais processos utilizados para a fabricação de armas e instrumentos cortantes, durante a Antiguidade e Idade Média, sendo considerada um processo importante para a metalurgia, principalmente devido a dificuldade de produção do aço.

Apesar da diminuição da importância do processo de soldagem entre os séculos XII e XV, devido ao desenvolvimento das tecnologias de fundição e o alto-forno, que possibilitou o acesso ao ferro fundido e ao aço. A partir do século XIX, começaram ocorrer mudanças significativas no processo de soldagem, devido principalmente: as experiências de Sir Humphry Davy (entre 1801 e 1806) com o arco elétrico; descoberta do acetileno por Edmund Davy; desenvolvimento de novas formas para a obtenção de energia elétrica que permitiu o surgimento da soldagem por fusão; e por fim a fabricação do aço em chapas e sua aplicação em larga escala industrial (Modenesi e Marques, 2006).

É importante destacar nesta revisão bibliográfica os grandes avanços obtidos com os processos de soldagem no último século, que permitiram o conhecimento e a aplicação destes da forma como são utilizados hoje na indústria. Modenesi e Marques (2006) destacam:

- Obtenção da primeira patente de um processo de soldagem, obtida por Nikolas Bernados e Stanislav Olszewsky, em 1885 na Inglaterra, baseado em um arco elétrico entre um eletrodo de carvão e a peça a ser soldada;
- Desenvolvimento no final do século XIX dos processos de soldagem por resistência, por aluminotermia e a gás;
- 1907 - Patente do processo de soldagem por eletrodo revestido, por Oscar Kjellberg (Suécia).

No quadro 1 é apresentado um resumo histórico da evolução dos processos de soldagem.

Quadro 1 – Histórico da Soldagem

QUANDO	FATO
1801	Sir Humphy Davy descobre o fenômeno do arco elétrico.
1836	Edmund Davy descobre o Acetileno.
1885	N. Bernardos e S. Olsewski depositam patente do processo de soldagem por arco elétrico.
1889	N.G. Slavianoff e C. Coffin substituem o eletrodo de grafite por arame metálico.
1901	Fouché e Picard desenvolvem o primeiro maçarico industrial para soldagem oxiacetilênica.
1903	Goldschmidt descobre a solda aluminotérmica.
1907	O. Kjellberg deposita a patente do primeiro eletrodo revestido.
1919	C. J. Halsag introduz a corrente alternada nos processos de soldagem.
1926	H.M. Hobart e P.K. Denver utilizam gás inerte como proteção do arco elétrico.
1930	Primeiras normas para eletrodo revestido nos Estados Unidos da América (EUA).
1935	Desenvolvimento dos processos de soldagem Tungsten Inert Gas (TIG) e Arco Submerso.
1948	H. F. Kennedy desenvolve o processo de soldagem Metal Inert Gas (MIG).
1950	Na França e Alemanha desenvolvem o processo de soldagem por feixe de elétrons.
1953	Surgimento do processo Metal Active Gas (MAG).
1957	Desenvolvimento do processo de soldagem com arame tubular e proteção gasosa.
1958	Desenvolvimento do processo de soldagem por eletroescória, na Rússia.
1960	Desenvolvimento de processo de soldagem a laser, nos Estados Unidos da América (EUA).
1970	Aplicados os primeiros robôs nos processos de soldagem.

Fonte: Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) (2006)

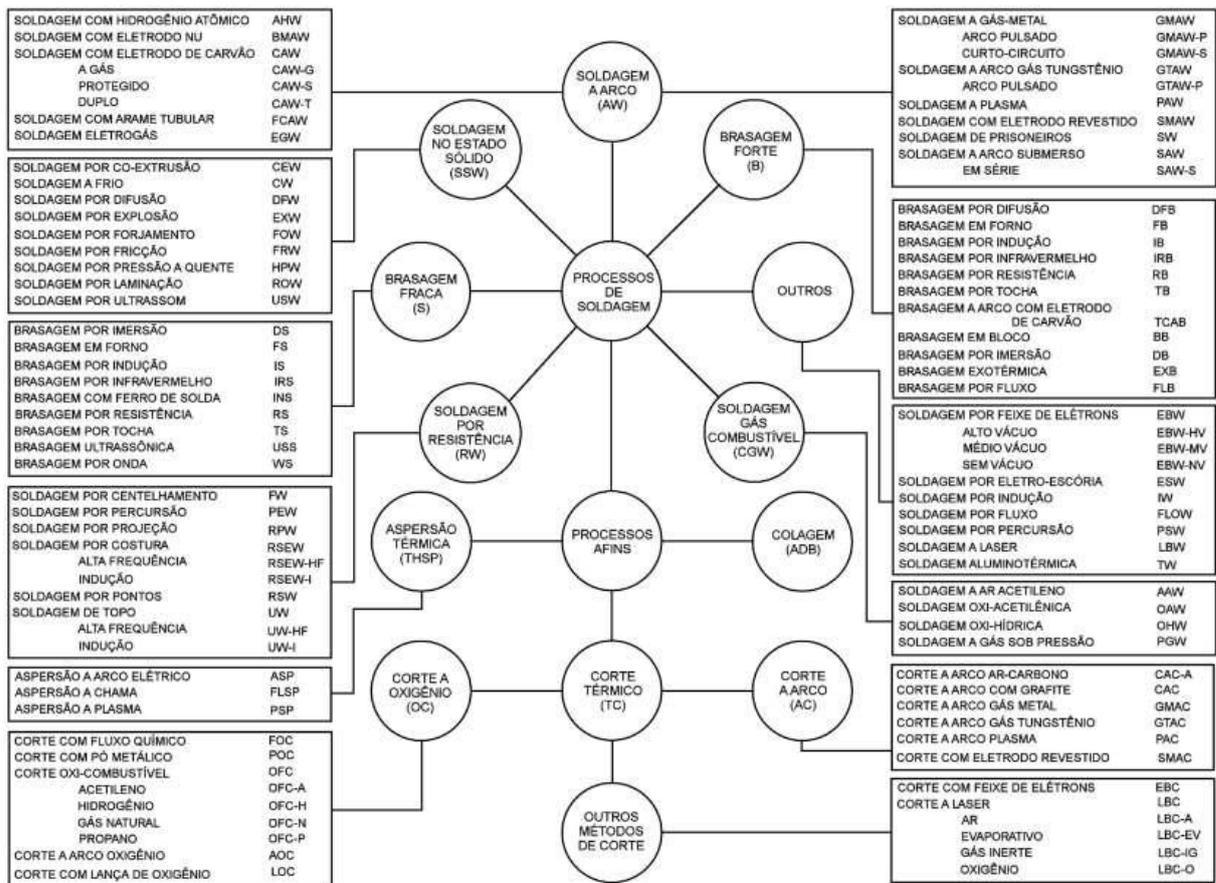
2.3 Processos de Soldagem

A soldagem é hoje a principal tecnologia utilizada pela indústria para a união de metais, de forma definitiva. Essa afirmação justifica-se pelo uso nas mais diversas

áreas da indústria dos mais de 50 processos de soldagem desenvolvidos e disponíveis para aplicação.

Na figura 1, são apresentados os principais processos de soldagem e afins, segundo a classificação da AWS.

Figura 1 – Processos de Soldagem (Classificação AWS)



Fonte: Marques (2013, p. 23)

A *International Standardization Organization* (ISO) em sua norma 4063 (1998) apresenta uma outra metodologia para classificar os processos de soldagem e afins. No quadro 2 é apresentada essa classificação.

Quadro 2 – Processos de Soldagem (Classificação ISO)

Designação	Inglês	Português (Brasil)
1	<i>Arc Welding</i>	Soldagem a arco
11	<i>Metal arc welding without gas protection</i>	Soldagem com eletrodo consumível e sem proteção Gasosa.
111	<i>Manual metal arc welding Shielded metal arc welding (EUA).</i>	Soldagem com eletrodo revestido
114	<i>Self-shielded tubular cored arc welding.</i>	Soldagem com arame tubular auto- protegido.
12	<i>Submerged arc welding.</i>	Soldagem a arco submerso.
122	<i>Submerged arc welding with strip electrode.</i>	Soldagem a arco submerso com eletrodo de fita.
13	<i>Gas-shielded metal arc welding Gas metal arc welding (EUA).</i>	Soldagem com eletrodo consumível e proteção gasosa.
131	<i>MIG welding with solid wire.</i>	Soldagem MIG (proteção gasosa inerte).
132	<i>MIG welding with flux cored electrode Flux cored arc welding (EUA).</i>	Soldagem com arame tubular e proteção gasosa.
133	<i>MIG welding with metal cored electrode.</i>	Soldagem com arame tubular metálico e proteção Gasosa.
135	<i>MAG welding with solid wire electrode.</i>	Soldagem MAG (proteção gasosa ativa).
136	<i>MAG welding with flux cored electrode Flux cored arc welding (EUA).</i>	Soldagem com arame tubular e proteção gasosa.
138	<i>MAG welding with metal cored electrode.</i>	Soldagem com arame tubular metálico e proteção gasosa.
14	<i>TIG welding Gas tungsten arc welding (EUA).</i>	Soldagem TIG.
2	<i>Resistance Welding.</i>	Soldagem por resistência.
21	<i>Resistance spot welding.</i>	Soldagem por resistência a ponto.
3	<i>Gas welding.</i>	Soldagem a gás.
311	<i>Oxyacetylene welding.</i>	Soldagem oxiacetilênica.
4	<i>Welding with pressure.</i>	Soldagem por pressão.
5	<i>Beam welding.</i>	Soldagem com feixe de alta energia.
7	<i>Other welding processes.</i>	Outros processos de soldagem.
72	<i>Electroslag welding.</i>	Soldagem por eletroescória.
8	<i>Cutting and gouging.</i>	Corte e goivagem.
83	<i>Plasma cutting.</i>	Corte a plasma
9	<i>Brazing, soldering and braze welding.</i>	Brasagem e solda-brasagem.
97	<i>Weld brazing Braze welding (EUA).</i>	Solda-brasagem.

Fonte: Adaptado pelo Autor (ISO, 1998)

Neste estudo será considerada a metodologia de classificação da AWS, devido a sua maior popularidade na indústria brasileira.

Considerando o objetivo deste estudo, será dado maior enfoque nos processos SMAW, FCAW e *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW), tendo em vista que eles são os processos de soldagem utilizados na união das tubulações industriais, que é o objeto deste estudo, cuja produtividade será analisada.

2.3.1 Processo SMAW

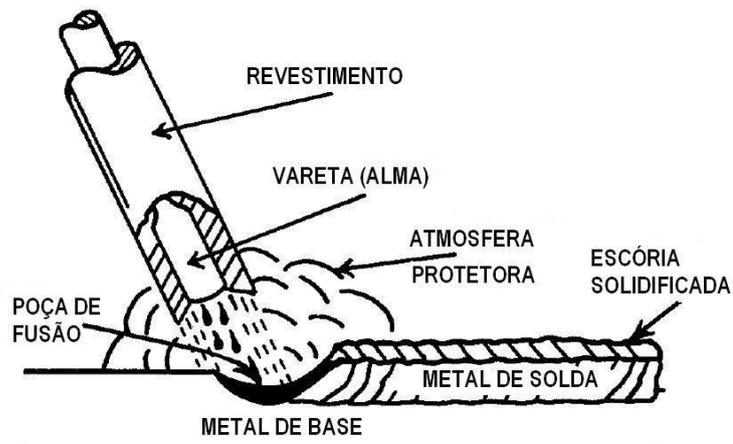
Foi desenvolvido em 1904 pelo fundador da ESAB, Oscar Kjellberg, devido a necessidade que tinha de melhorar a qualidade dos serviços de soldagem em navios e caldeiras em Gothenburg, na Suécia. Devido à grande versatilidade e simplicidade na sua aplicação; hoje ainda, ele é um dos mais usados e principais processos de soldagem aplicados na indústria.

De acordo com Medeiros (2005) apud Gioia e Junior (2008) a soldagem com eletrodo revestido compreende a união dos metais por meio do aquecimento gerado pelo arco elétrico estabelecido entre o eletrodo revestido e o metal de base.

Marques et al (2013, p. 181) corrobora com esta definição, “é um processo que produz a coalescência entre metais pelo aquecimento destes com um arco elétrico estabelecido entre o eletrodo metálico revestido e a peça que está sendo soldada”.

Na figura 2 é apresentado o desenho esquemático do processo de soldagem SMAW.

Figura 2 – Desenho Esquemático Processo SMAW



Fonte: ESAB (2005, p. 5)

2.3.1.1 Características do Processo SMAW – Consumíveis e Equipamentos

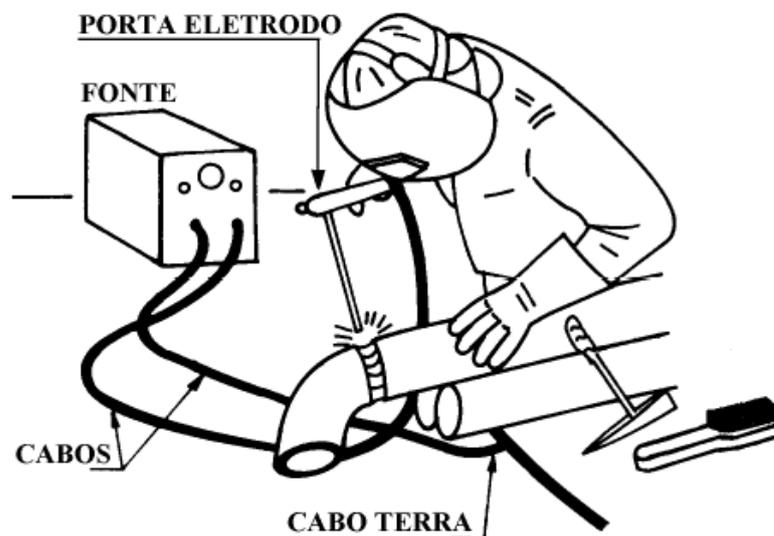
Neste tópico serão apresentadas as principais características que fazem deste processo o mais utilizado na indústria, principalmente devido a sua versatilidade na soldagem dos mais diversos materiais.

- 1) **Consumível:** O eletrodo revestido é uma vareta metálica, chamada de “alma”, recoberta com uma mistura de materiais que formam o revestimento. Por meio da “alma” a corrente elétrica passa fundindo o metal de adição da vareta, promovendo a formação dos cordões de solda. O revestimento tem um papel importantíssimo neste processo, pois, dentre outras funções decompõe gerando uma camada de gás e escória que protege a poça de fusão e o metal de solda da contaminação dos gases presentes no ambiente.
- 2) **Equipamentos:** são relativamente simples, compostos por: fonte de energia com potência compatível com a corrente requerida pelo procedimento de soldagem, cabos, porta eletrodos “alicate”; acessórios e equipamentos para preparação e limpeza, como: picadeira, escova de aço, lixadeira; e materiais de segurança: luvas, óculos, máscara de soldador, avental, perneira, dentre outros.

A soldagem pelo processo SMAW é manual, o que requer grande habilidade do soldador, pois a ele cabe controlar o comprimento do arco, a poça de fusão e

deslocar o eletrodo ao longo da junta. Quando o eletrodo é quase todo consumido o soldador interrompe o processo para trocar o consumível e realizar a limpeza da escória, para então reiniciar a soldagem. Esta característica de troca contínua do eletrodo é um dos grandes fatores para sua baixa produtividade em comparação com os processos que possuem alimentação contínua do consumível, como é o caso do FCAW (Modenesi e Marques, 2006). Na figura 3 são apresentados os equipamentos básicos usados no processo SMAW.

Figura 3 – Desenho Esquemático Equipamentos – SMAW



Fonte: Modenesi e Marrques (2006, p. 11)

O processo de soldagem SMAW, como descrito nos parágrafos anteriores, é extremamente versátil e relativamente simples de ser aplicado em comparação com outros processos de soldagem a arco elétrico, o que pode ser atribuído às variações de consumíveis existentes no mercado, ao baixo custo dos equipamentos, à viabilidade de aplicação em locais de difícil acesso, dentre outras. No Quadro 3 são apresentadas as principais vantagens e limitações deste processo.

Quadro 3 – Vantagens e Limitações do Processo SMAW

VANTAGENS	LIMITAÇÕES
<ul style="list-style-type: none"> • O custo de investimento em equipamentos é relativamente baixo. • Equipamento simples, portátil e barato. • Não necessita fluxos ou gases externos. • Pouco sensível à presença de correntes de ar (trabalho no campo). • Processo muito versátil em termos de materiais. • Oferece maior flexibilidade entre todos os processos de soldagem, pois pode ser usado em todas as posições (plana, vertical, horizontal, etc). • Pode ser utilizado em praticamente todas as espessuras do metal base e em áreas de acesso limitado. • O metal de solda e os meios de proteção desta solda são fornecidos pelo eletrodo revestido, não requerendo nenhum equipamento adicional. • É apropriado para a maioria dos metais e ligas metálicas comumente usadas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicação difícil para materiais reativos. • Produtividade relativamente baixa. • Exige limpeza após cada passe. • Requer tratamento do consumível, secagem. • Por ser um processo tipicamente manual, o nível de habilidade do soldador é de fundamental importância para se obter uma solda de qualidade aceitável. • Baixas taxas de deposição quando comparado com o processo GMAW ou FCAW, por exemplo. • Como o eletrodo pode ser consumido até um comprimento mínimo, quando este comprimento é atingido, o soldador deve trocar a parte não consumida por um outro eletrodo. • Difícil automação.

Fonte: Adaptado pelo Autor (Modenesi e Marques, 2006)

São essas vantagens e limitações que permitem a capilaridade deste processo pela indústria, e de forma especial a indústria brasileira, pois permite sua aplicação nas mais diversas áreas, como: montagens industriais incluindo atividades no campo, manutenção, produção, soldagem de diversos materiais desde o aço carbono tradicional a ligas de aços especiais e ferro fundido.

Neste estudo a produtividade será apurada na soldagem de tubulações industriais, no campo, para fins de comparação de seu desempenho com o processo FCAW – mecanizado. Espera-se que os resultados permitam confirmar o disposto nesse referencial teórico e subsidiar a tomada de decisão na aplicação do processo SMAW na soldagem de tubulações industriais.

2.3.2 Processo FCAW

O processo FCAW, conhecido popularmente como Soldagem com Arames Tubulares, foi criado na década de 50 do século passado, para atender a demanda da indústria por processos de soldagem mais produtivos. O processo busca aliar as melhores características de produtividade do processo GMAW com a proteção gerada pela escória do processo SMAW (ESAB, 2004).

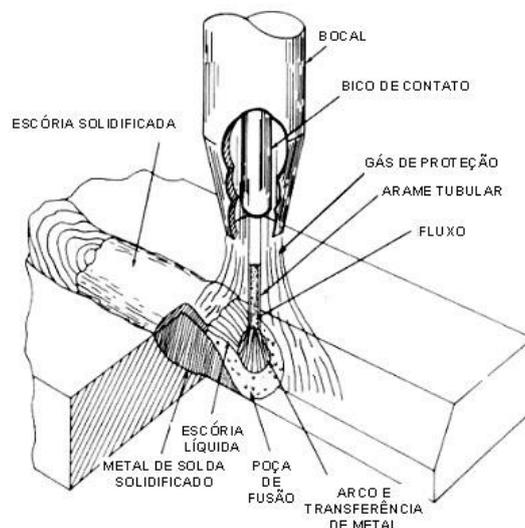
De acordo com Medeiros (2005) apud Gioia e Junior (2008) a soldagem pelo processo FCAW, consiste na união dos metais de base por meio do estabelecimento de um arco elétrico entre o eletrodo, arame de alimentação contínua, e a peça a ser soldada. A proteção é feita por meio do fluxo existente no interior do arame tubular, podendo ser complementada com um gás de proteção.

Segundo Marques et al (2013, P. 255), o processo FCAW:

É um processo que produz a coalescência de metais pelo aquecimento destes com um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo tubular, contínuo, consumível e a peça de trabalho. A proteção do arco e do cordão de solda é feita por um fluxo de soldagem contido dentro do eletrodo, que pode ser suplementada por um fluxo de gás fornecido por uma fonte externa.

Na figura 4 é apresentado um esquema do processo de soldagem FCAW.

Desenho Esquemático Processo de Soldagem - FCAW



Fonte: ESAB (2004, p. 14)

2.3.2.1 Características do Processo FCAW – Consumíveis e Equipamentos

Neste tópico serão apresentadas as principais características do processo FCAW, que justificam sua alta produtividade e a versatilidade de aplicação, devido às características do seu consumível, que se assemelha ao processo SMAW:

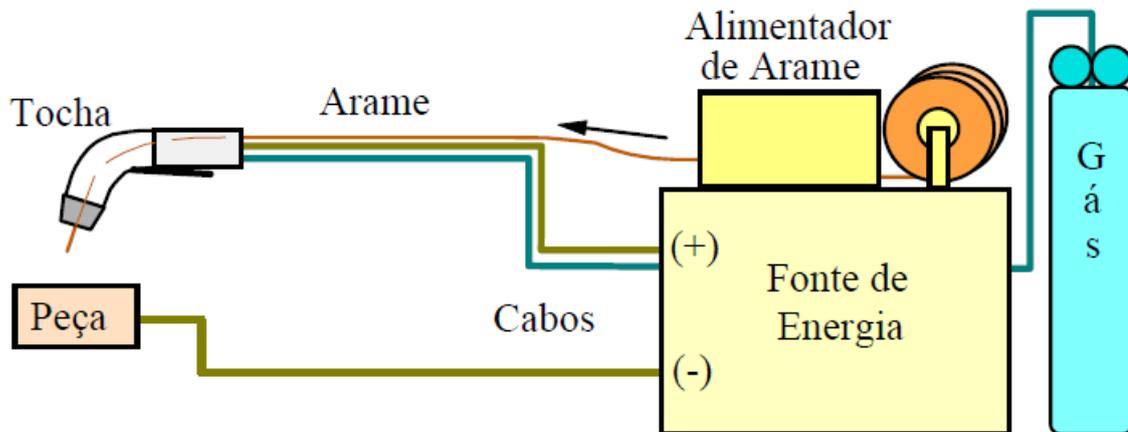
1) Consumível: O consumível é um tubo formado por uma fita metálica que envolve o fluxo, com características semelhantes ao revestimento do eletrodo usado no processo SMAW. Esse fluxo, além da proteção contra os gases presentes na atmosfera, contribui para desoxidar, refinar o metal de solda, adicionar elementos de liga, estabilizar o arco, dentre outras.

De acordo com Marques et al (2013), existem duas variações básicas no processo FCAW, associadas ao tipo de arame utilizado: Arame autoprotetido, em que a proteção da solda é realizada totalmente pelo fluxo existente no interior do arame; Arame tubular com proteção a gás, onde é utilizado um gás de proteção para complementar a proteção, geralmente um gás ativo como o dióxido de carbono (CO₂) ou mistura.

Neste estudo, o processo FCAW analisado utiliza como consumível o arame tubular (E71T-1M – diâmetro 1,2 milímetros), com proteção a gás, uma mistura de CO₂ (25%) com Argônio (75%).

2) Equipamentos: Este processo possui um conjunto de equipamentos de maior complexidade se comparado com o processo SMAW. Fazem parte do conjunto de equipamentos: fonte de energia (tensão constante e corrente contínua), um alimentador de arame, uma tocha de soldagem, uma fonte de gás de proteção, cabos e mangueiras e dispositivos auxiliares, quando ocorre a mecanização do processo. Na figura 5 é apresentado o desenho esquemático dos equipamentos.

Figura 5 – Desenho Esquemático Equipamentos - FCAW



Fonte: Modenesi e Marques (2006, p. 15)

O componente importante no processo FCAW com o uso do arame com proteção a gás, é justamente o gás de proteção, e geralmente é utilizado um gás ativo como o CO_2 ou mistura deste gás, normalmente com o Argônio. Este gás complementa a proteção da junta soldada, que também é realizada pelo fluxo presente no interior do arame tubular.

O processo de soldagem FCAW é um processo semi-automático, que reúne características dos processos GMAW e SMAW, permitindo oferecer ao processo alta produtividade combinada com a proteção necessária da poça de fusão e do metal de solda, produzindo desta forma uma solda de alta qualidade e custo baixo, com menor esforço do soldador em comparação com o processo SMAW. No quadro 4 são apresentadas as principais vantagens e limitações do processo FCAW.

Neste estudo, a produtividade será apurada na soldagem mecanizada de tubulações industriais, no campo, para fins de comparação de seu desempenho com o processo SMAW – manual. Espera-se que os resultados permitam confirmar o disposto nesse referencial teórico e subsidiar a tomada de decisão na aplicação do processo FCAW - Mecanizado na soldagem de tubulações industriais.

Quadro 4 – Vantagens e Limitações do Processo FCAW

VANTAGENS	LIMITAÇÕES
<ul style="list-style-type: none"> • Elevada produtividade e eficiência. • Soldagem em todas as posições. • Custo relativamente baixo. • Produz soldas de boa qualidade e aparência. • Alta qualidade do metal depositado. • Ótima aparência da solda (solda uniforme). • Excelente contorno em soldas de ângulo. • Solda vários tipos de aços e em grandes faixas de espessuras. • Fácil operação devido à alta facilidade de mecanização. • Alta taxa de deposição devido a alta densidade de corrente. • Relativamente alta eficiência de deposição. • Economiza engenharia para projeto de juntas. • Requer menor limpeza do que no GMAW. • Distorção reduzida em relação a SMAW. • Uso de eletrodos autoprotetidos elimina a necessidade do uso de aparelhos de gás além de ser mais tolerante para operação ao ar livre. • Alta tolerância com relação a contaminantes que podem originar trincas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Soldagem de aços carbono e ligados. • Soldagem em fabricação, manutenção e em montagem no campo. • Soldagem de partes de veículos. • Limitado a soldagem de metais ferrosos e liga a base de níquel. • Necessidade de remoção de escória. • O arame tubular é mais caro na base de peso do que o arame de eletrodo sólido, entretanto, à medida que aumentam os elementos de liga, esta relação diminui. • O equipamento é mais caro se comparado ao utilizado para soldagem pelo processo SMAW, mas a alta produtividade compensa. • Restrição da soldagem ao ar livre (somente para soldagem FCAW com gás de proteção). • O alimentador de arame e a fonte de energia devem estar próximos ao local de trabalho. • São gerados mais fumos do que os processos GMAW e <i>Submerged Arc Welding</i> SAW.

Fonte: Adaptado pelo Autor (Modenesi e Marques, 2006)

Essas são as vantagens e limitações do processo de soldagem FCAW que estão contribuindo para a sua disseminação na indústria brasileira nos últimos anos, com aplicação pela indústria naval, nuclear, na construção de plataformas para extração de petróleo, fabricação de estruturas metálicas em aço carbono, com grande vantagem sobre os processos GMAW e SMAW.

2.3.3 Processo GTAW

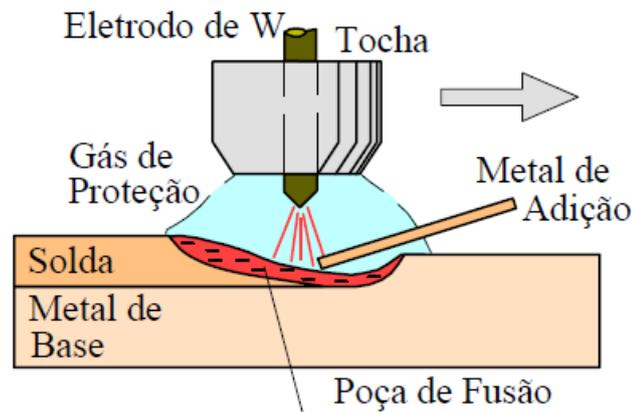
De acordo com Medeiros (2005) apud Gioia e Junior (2008) a soldagem pelo processo GTAW, é o processo pelo qual a união dos metais é realizada pela fusão localizada da junta, por meio do aquecimento gerado pelo arco elétrico estabelecido

entre um eletrodo não consumível de tungstênio e a peça metálica. Neste processo a proteção da poça de fusão e do metal de solda é realizada por um gás inerte ou mistura destes gases. Apresenta também variações com relação a adição ou não de metal de adição.

Bracarense (2000) detalha o funcionamento deste processo. Na soldagem a arco com eletrodo de tungstênio e proteção gasosa GTAW, ou Tungsten Inert Gas (TIG) como é popularmente chamado no chão de fábrica. Este processo funciona por meio de um eletrodo de tungstênio ou liga deste material, o qual é preso em uma tocha que exerce também a função de alimentação do gás inerte utilizado no processo, para a proteção da poça de fusão. O arco elétrico é estabelecido entre o eletrodo e peça metálica, por meio da passagem de corrente elétrica pelo gás de proteção ionizado, gerando o aquecimento que realiza a fusão da junta. Este processo pode ser realizado com ou sem metal de adição.

Na figura 6 é apresentado o desenho esquemático do processo GTAW.

Figura 6 – Desenho Esquemático Processo de Soldagem - GTAW



Fonte: Modenesi e Marques (2006, p.11)

2.3.3.1 Características do Processo GTAW – Consumíveis e Equipamentos

O processo de soldagem GTAW tem como principal característica a alta qualidade da junta soldada produzida, qualidade esta influenciada de forma significativa pela habilidade do soldador, tendo em vista que apesar da viabilidade de mecanizar ou

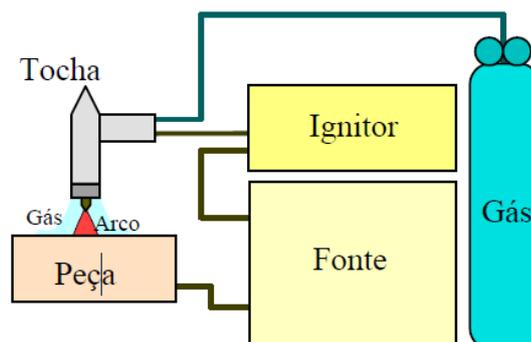
automatizar, é um processo utilizado largamente na indústria em sua versão manual. Nos itens abaixo são apresentadas as principais características deste processo:

1) Consumível: O consumível, quando utilizado, é uma vareta ou um rolo de metal de adição, com propriedades similares ao metal de base, considerando a compatibilidade metalúrgica. Tem como consumível também o gás de proteção, que é um gás inerte, normalmente argônio, ou mistura com outros gases inertes, como o hélio.

Neste estudo o processo GTAW analisado utiliza como consumível vareta ER70S-3, e como gás de proteção o argônio.

2) Equipamentos: Este processo possui um conjunto de equipamentos de maior complexidade e custo em comparação com o processo SMAW. Fazem parte do conjunto de equipamentos: Fonte de energia Corrente Contínua e/ou Corrente Alternada, tocha com o eletrodo de tungstênio ou liga deste, cilindro/fonte de gás inerte argônio ou hélio, dispositivo para abertura do arco, geralmente um ignitor de alta frequência (Modenesi e Marques, 2006). Na figura 7 é apresentado o desenho esquemático dos equipamentos.

Figura 7 – Desenho Esquemático Equipamentos – GTAW



Fonte: Modenesi e Marques (2006, p.11)

O processo de soldagem GTAW tem como característica a qualidade da solda produzida, sendo amplamente utilizado na soldagem de aços ligados, aços inoxidáveis e ligas não ferrosas. Na soldagem estrutural é muito utilizado para fazer o passe de raiz em tubulações industriais, com enchimento e acabamento realizado

com outros processos. O uso para fazer o passe de raiz deve-se a qualidade do acabamento e a integridade da raiz da junta.

Neste estudo a produtividade do processo GTAW não será apurada, porque o objetivo é avaliar o desempenho dos processos SMAW – Manual e FCAW - Mecanizado. A sua apresentação neste tópico foi necessária devido a este processo ser utilizado para fazer o passe de raiz nas tubulações industriais, que são objeto deste estudo. Portanto, conhecer este processo é importante para compreensão do processo de soldagem de tubulações industriais. No quadro 5 são apresentadas as principais vantagens e limitações deste processo.

Quadro 5 – Vantagens e Limitações do Processo GTAW

VANTAGENS	LIMITAÇÕES
<ul style="list-style-type: none"> • Excelente controle da poça de fusão. • Permite soldagem sem o uso de metal de adição. • Permite automação do processo. • Produz soldas de alta qualidade e excelente acabamento. • Gera pouco ou nenhum respingo. • Exige pouca ou nenhuma limpeza após a soldagem. • Permite a soldagem em qualquer posição. • Permite excelente controle na penetração de passes de raiz; • Permite um controle preciso das variáveis da soldagem; • Pode ser usado em quase todos os metais, inclusive metais dissimilares. 	<ul style="list-style-type: none"> • Taxas de deposição inferiores com processos de eletrodos consumíveis; • Requer grande habilidade do soldador; • Custo de consumíveis e equipamento é relativamente elevado. • Há dificuldade de manter a proteção em ambientes turbulentos; • Pode haver inclusões de Tungstênio, no caso de haver contato do mesmo com a poça de soldagem; • Pode haver contaminação da solda se o metal de adição não for adequadamente protegido; • Há baixa tolerância a contaminantes no material de base ou adição; • Produtividade relativamente baixa.

Fonte: Adaptado pelo Autor (Bracarense, 2000)

As vantagens e limitações apresentadas confirmam a sua capacidade de produzir soldas de alta qualidade, principalmente para aplicações onde o acabamento e a confiabilidade da integridade da junta são requisitos importantes, como é a aplicação na soldagem do passe de raiz de tubulações industriais.

2.4 Tubulação Industrial

Telles (1987) define tubo como condutos fechados utilizados para o transporte de fluídos. O tubo tem como característica a seção circular, oca, com espessuras e diâmetros variados. O tubo na maioria das aplicações funciona como um conduto forçado, ou seja, a seção é totalmente preenchida com o fluído, sendo a circulação forçada com o suporte de bombas hidráulicas ou por gravidade, considerando as características do projeto.

A tubulação por sua vez compreende um conjunto de tubos unidos por solda, rosca, flange ou ponta bolsa; com a função de transportar o fluído por um circuito projetado. No caso deste estudo, aplicada em processos industriais e unida por meio do processo soldagem. Na figura 8 é apresentada uma tubulação industrial.

De acordo com Fernandes (2005, p.149) “Em indústrias de processamento, a montagem de tubulações representa cerca de 40% dos custos totais de montagem”.

Figura 8 – Tubulação Industrial



Fonte: Autor (2014)

Os sistemas de tubulação são utilizados para uma série de aplicações nos processos industriais, como:

- Distribuição de vapor para força e/ou para aquecimento;
- Distribuição de água potável ou de processos industriais;

Distribuição de óleos combustíveis ou lubrificantes;
Distribuição de ar comprimido;
Distribuição de gases e/ou líquidos industriais (Telles, 1987).

Na indústria, os sistemas de tubulação são classificados conforme sua aplicação, em: tubulações do processo, tubulações para utilidades, tubulações para instrumentação, tubulações para drenagem, dentre outras, (Fernandes, 2005).

Quanto à fabricação, os tubos apresentam duas classificações básicas:

- **Tubos sem costura** que são fabricados pelos processos de laminação, extrusão ou fundição;
- **Tubos com costura** que são fabricados por soldagem.

Considerando as várias aplicações das tubulações industriais, os tubos são fabricados com os mais diversos tipos de materiais; abaixo são apresentados alguns tipos de materiais:

Metálicos: Aço carbono, aço liga, aço inoxidável, ferro fundido, cobre, níquel, chumbo, dentre outros;

Não Metálicos: Polietileno, cloreto de polivinil (PVC), poliéster, cimento, borracha, vidro, cerâmica, dentre outros.

Entretanto, a seleção do tipo de material do tubo a ser utilizado não é uma tarefa fácil, tendo em vista as variáveis influenciadas pela aplicação que se projeta. Portanto, na seleção do tubo e seu material, devem ser considerados os fatores:

- **Tipo do fluido conduzido**, como: toxidez, corrosão, nível de acidez, dentre outras;
- **Nível de tensões que a tubulação estará sujeita**, como: pressão, dilatação térmica, condições do vento, peso, dentre outras;

- **Resistência mecânica requerida na aplicação**, considerando os esforços submetidos, como: tração, compressão, flexão, vibração, dentre outros;
- **Condições de serviço**, como: temperatura do fluido, pressão de trabalho, dentre outras;
- **Sistema de ligação**, considerar a forma de união: flange, solda, dentre outras;
- **Facilidade de fabricação e montagem**, como: soldabilidade, facilidade de conformação, dentre outras, (Telles, 1987).

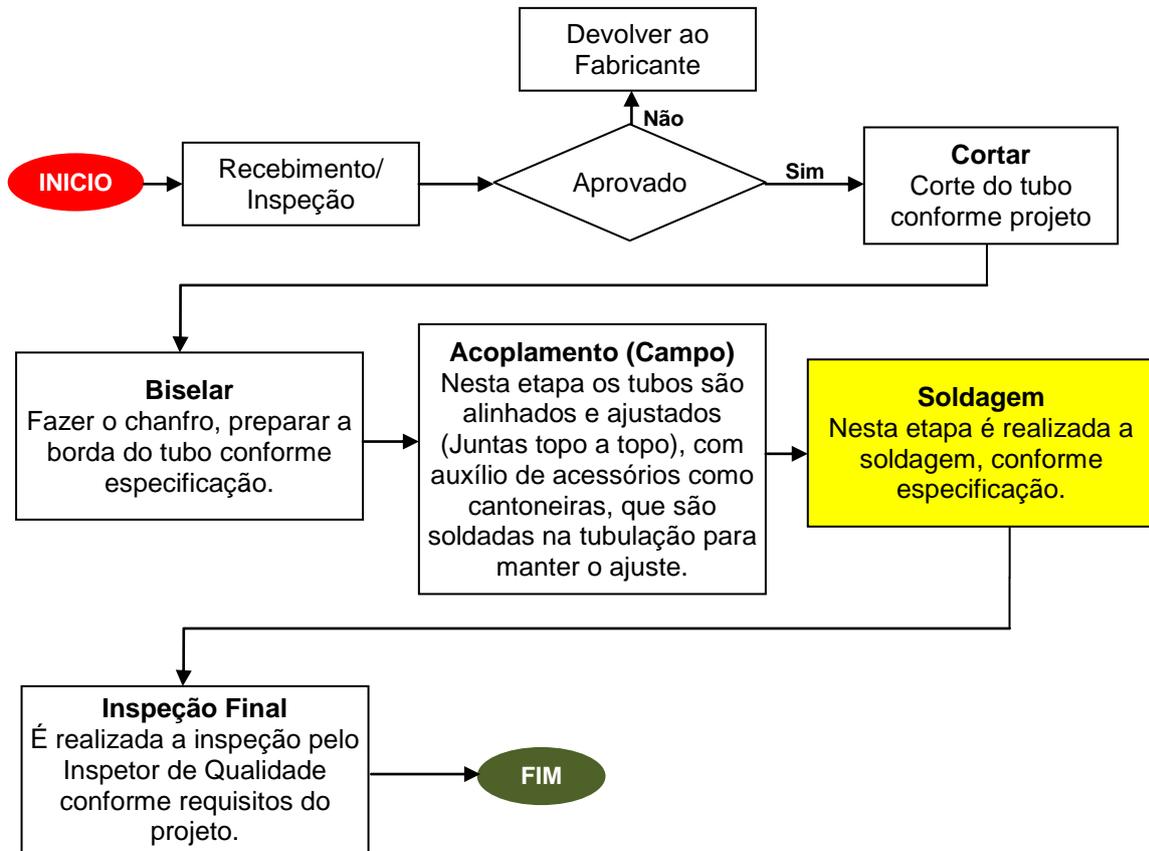
Enfim, a seleção do tipo de tubo a ser utilizado compreende a análise de uma combinação de variáveis, que são determinadas pelo tipo de aplicação a que se destina o sistema de tubulação.

Neste estudo o sistema de tubulação analisado é do tipo com costura, com diâmetro de 24 polegadas, espessura de 9,5 mm, em aço carbono ASTM A 106 Grau B, P Number 1, Grupo 1.

2.4.1 Montagem de Tubulação Industrial

A montagem de tubulação industrial, que consiste na união dos tubos para formar o sistema, é feita por um processo que compreende diversas etapas, que devem ser realizadas conforme projeto e com conhecimento técnico suficiente, tendo em vista que a falha em quaisquer destas etapas pode comprometer a montagem. Na Figura 9 é apresentado o fluxograma das atividades que compreende a montagem da tubulação industrial.

Fluxograma Montagem Tubulação Industrial



Fonte: Autor (2014)

2.5 Automação em Soldagem

Como já visto no item 2.3 deste estudo, a soldagem é a principal tecnologia disponibilizada e utilizada pela indústria para união de materiais. Considerando a busca pela competitividade de seu negócio, a indústria invariavelmente tem buscado tecnologias que possibilitem a automação como alternativa para maximizar a produtividade de seus processos de soldagem.

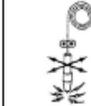
Para Marques et al (2013), a automação têm como objetivos aumentar a produtividade, reduzir os custos de produção, melhorar a qualidade e confiabilidade das juntas soldadas, devido a redução ou eliminação dos erros gerados pelo fator humano.

De acordo com Felizardo¹, a AWS classifica os processos de soldagem considerando o tipo de operação e as atividades necessárias para soldagem de uma junta. As atividades são as seguintes:

- Abertura e manutenção do arco;
- Alimentação do material de adição;
- Controle do calor cedido e da penetração;
- Deslocamento da tocha;
- Procura da junta e manutenção da continuidade;
- Direcionamento da tocha e do arco;
- Correção e compensação durante a operação, se necessárias.

A classificação dos processos realizada pela AWS, com base nestes fatores é apresentada no quadro 6.

Quadro 6 – Tipos de Operação de Soldagem, segundo a AWS

Método de Aplicação	Manual	Semi-automático	Mecanizado	Automático	Robotizado	Controle Adaptativo
Atividades						
Abertura e manutenção do arco	Humano	Máquina	Máquina	Máquina	Máquina (com sensor)	Máquina (Robô)
Alimentação do arame/eletrodo	Humano	Máquina	Máquina	Máquina	Máquina	Máquina
Controle do calor para obter penetração	Humano	Humano	Máquina	Máquina	Máquina (com sensor)	Máquina (Robô) (só com sensor)
Movimento do arco ao longo da junta	Humano	Humano	Máquina	Máquina	Máquina (com sensor)	Máquina (Robô)
Guiar o arco ao longo da junta	Humano	Humano	Humano	Máquina (via trilha pré programada)	Máquina (com sensor)	Máquina (Robô) (só com sensor)
Manipular a tocha para direcionar o arco	Humano	Humano	Humano	Máquina	Máquina (com sensor)	Máquina (Robô)
Correções do arco para compensar desvios	Humano	Humano	Humano	Não ocorre	Máquina (com sensor)	Máquina (Robô) (só com sensor)

Fonte: Marques et al (2013, p. 128)

É importante ressaltar que uma empresa deve avaliar a relação custo/benefício da implantação do processo e a tecnologia que irá gerar os melhores ganhos em

¹ Notas de Aula – Professora Dra. Ivanilza Felizardo - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Soldagem – UFMG, 2013.

produtividade e competitividade antes de tomar sua decisão de automação do processo de soldagem.

2.5.1 Mecanização em Soldagem

Como citado no item 2.5, a mecanização da operação compreende o uso de equipamentos que realizam a soldagem, com ajustes realizados pelo operador, com base na observação visual da solda executada. Neste estudo será avaliado o desempenho da produtividade obtida com a mecanização do processo de soldagem de juntas de tubulação industrial. A empresa que é estudada definiu por adotar a tecnologia de soldagem mecanizada com o sistema orbital, como sua primeira iniciativa para automação de seus processos de soldagem. Na figura 10 é apresentada a aplicação da tecnologia.

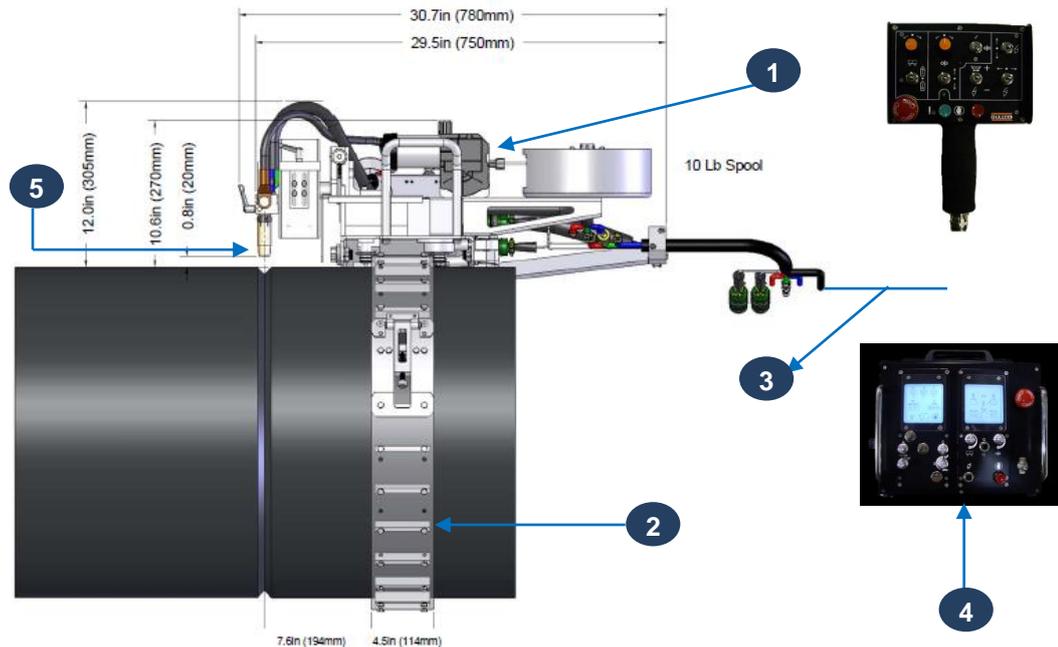
Figura 10 – Soldagem Mecanizada – Sistema Orbital



Fonte: Autor (2014)

O sistema adquirido pela Montadora é o PIPE KAT® – Modelo PK-200-C, da fabricante Canadense Gullco, para mecanização da soldagem de tubulações. Na figura 11 é apresentado o conjunto.

Figura 11 – Equipamento de Soldagem Mecanizada - PIPE KAT®



Fonte: Adaptado pelo Autor (GULLCO, 2014)

O sistema PIPE KAT® é composto por um conjunto de equipamentos e acessórios, como descrito a seguir:

Componente 1: o carro ou cabeçote é o equipamento principal; nele são instalados o alimentador de arame tubular, a tocha e os cabos de refrigeração e controle do dispositivo. O carro realiza a movimentação pela junta, realizando a soldagem por meio dos comandos. A tecnologia embarcada neste carro permite o alinhamento da tocha, tanto horizontal (oscilação) quanto vertical (Distância bico de contato-peça), para ajuste fino na junta a ser soldada.

Componente 2: Pista ou cremalheira, é a pista onde é montado o carro (Cabeçote de Soldagem), que permite realizar o percurso da tocha de soldagem por todo o perímetro da junta soldada e ajustes de oscilação da tocha.

Componente 3 – Controle Remoto de Mão: o controle possui um cabo de 3,5 metros de comprimento, que permite ao operador controlar à distância as variáveis do equipamento, como: velocidade de alimentação do arame, velocidade do carro, oscilação da tocha (Amplitude e Frequência), distância bico de contato-peça, direção

do carro (para frente e para trás), controle do início e término da operação (Início e Extinção do Arco Elétrico), parada de emergência.

Componente 4 – Controle Fixo do Carro: este componente é fixo e apresenta as mesmas funções do controle remoto. Tem como propósito permitir ao operador fazer os ajustes principais do equipamento, antes de iniciar a soldagem.

Componente 5 – Tocha: a tocha tem como função guiar o arame, conduzir a corrente elétrica e o gás de proteção até a junta, e é refrigerada a água. Seu funcionamento é semelhante ao da utilizada na soldagem manual, mas com algumas adaptações feitas para o equipamento PIPE KAT®.

O PIPE KAT® é versátil e compatível com as diversas tecnologias de fontes de soldagem, sendo indicado pelo fabricante o uso preferencial de fontes inversoras. A Montadora utiliza uma fonte inversora Invertec 300 da fabricante Lincoln.

2.6 Produtividade

Com a abertura da economia brasileira na década de 90 do século passado, as organizações brasileiras se viram diante de um grande desafio, sair da comodidade que um mercado protegido e sem concorrência internacional gera, para um novo modelo de produção e mercado altamente competitivo, globalizado.

Neste contexto, ser produtivo e ter processos eficientes é fundamental para fabricar produtos e prestar serviços de qualidade e competitivos.

Mas o que é produtividade? O que é ser produtivo? Para Sink (1985) apud Peixoto e Gomes (2006) é a relação estabelecida entre a saída e os recursos consumidos na entrada do processo.

Este estudo tem como foco avaliar a produtividade do processo de soldagem manual - SMAW e o processo mecanizado – FCAW, na soldagem de tubulações industriais, apresentando os resultados comparativos deste indicador de desempenho, bem

como os fatores críticos de sucesso de cada uma dessas opções. O recurso consumido avaliado é o tempo.

No próximo item será tratada a aplicação do conceito da produtividade na soldagem, o que irá permitir definir a metodologia ou grandeza a ser utilizada para avaliar o desempenho de cada um dos processos de soldagem observados, no que tange a produtividade.

2.6.1 Produtividade em Soldagem

Tradicionalmente, a produtividade na indústria da construção e montagem é apurada por meio do indicador de homem-hora/tonelada montada. Entretanto, por uma questão estratégica, muitos dos resultados desses indicadores não são divulgados (Fernandes, 2005), situação esta que compromete a análise e a melhoria da competitividade da indústria brasileira.

De acordo com Martins et al (2011), a produtividade em soldagem geralmente é medida pela quantidade de material depositado por homem-hora trabalhada, ou seja kg/Hh.

Entretanto, Gioia e Junior (2008) relatam que estudos realizados pela *American Welding Society* e pelo *Edison Welding Institute* com foco no custo e produtividade da soldagem, concluídos em 2002, mostraram que 56% das empresas pesquisadas não monitoram a produtividade de seu processo de soldagem, as demais empresas, ou seja, 44% monitoram pelo menos 1 indicador, dentre esses:

- Componentes por período de tempo;
- Taxa de defeito (%);
- Desempenho por Tempo Padrão;
- Juntas completadas por período de tempo;
- Comprimento de Solda por período de tempo;
- Massa ou peso de metal depositado por período de tempo;
- Peso ou número de peças unidas por período de tempo;
- Percentual de tempo de arco aberto.

Gioia e Junior (2008) relacionam oito tipos de medidas para avaliação da produtividade em soldagem:

Quadro 7 – Indicadores de Produtividade em Soldagem

Descrição	Exemplo/Unidade de Medida
Velocidade de Soldagem	Peças soldadas/período de tempo (Pç/h) ou Peças soldadas/homem/período de tempo (Pç/Hh).
Saída do Processo	Juntas soldadas/período de tempo (J/h)
Taxa de Deposição Metal de Solda	Quantidade de material depositado/tempo (kg/h)
Tempo de Arco Aberto	Tempo de Arco Aberto/tempo de Operação (TAA/TO)%
Produtos de Soldagem - Padrão	Componentes soldados/período de tempo (C/h)
Produtos de Soldagem – Customizados	Toneladas de aço montadas/período de tempo (TON/h)
Taxa de defeito	Defeitos/Amostragem (%)
Desempenho x Tempo Padrão	Produção completada/tempo padrão (Pd/HP)

Fonte: Adaptado pelo Autor (Gioia e Júnior, 2008)

Neste estudo será utilizado um indicador do tipo saídas do processo – Juntas/Homem-Hora, tendo em vista a proposta, que é estimar a produtividade dos processos de soldagem SMAW – Manual e FCAW - Mecanizado para a união de tubulações industriais. O indicador que será usado será o Número de juntas soldadas por Dia, considerando o dia com 6 horas de soldagem, que é bastante adequado para melhor compreensão da produtividade dos processos em estudo.

A apuração do indicador de produtividade para os processos avaliados nesse estudo irá considerar apenas as etapas de enchimento e acabamento, pois o passe de raiz é feito com um processo comum que é o GTAW. Portanto, o indicador Juntas soldadas/Dia considerado para este estudo compreende apenas as etapas de enchimento e acabamento, desconsiderando-se a etapa de soldagem do passe de raiz. Sendo utilizado 1 (um) soldador.

Como já dito no início deste item, na montagem industrial é utilizado tipicamente o indicador homem-hora/tonelada montada, entretanto para montagem de tubulação é mais utilizado o indicador metros montados/Homem-hora.

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

3.1 O Que é Pesquisa

Segundo Cervo (1983, p. 186), “a pesquisa é uma atividade voltada para a solução de problemas, pretendendo trazer respostas a perguntas por meio de processos do método científico”. Utilizando a metodologia científica, a Pesquisa tem como objetivo descobrir novos dados, gerando maiores conhecimentos nas diversas ciências.

3.2 Classificação da Pesquisa

3.2.1 Pesquisas Quanto à Natureza

Podemos classificar a pesquisa como Pura ou Aplicada. De acordo com Cervo (1983) a pesquisa pura ocorre quando há o interesse em adquirir novos conhecimentos sem que haja uma aplicação prática do objeto estudado, ou seja, satisfazer uma necessidade intelectual de conhecimento, onde a meta é o saber.

A Pesquisa Aplicada se enriquece a partir da pura. Os conhecimentos adquiridos na pesquisa pura são utilizados e desenvolvidos em uma aplicação prática, visando à solução de problemas da vida real. A pesquisa aplicada busca transformar os resultados do trabalho em uma ação concreta.

Segundo Appolinário (2012), a pesquisa básica ou pura estaria ligada ao incremento do conhecimento científico sem considerar objetivos comerciais, enquanto que a pesquisa aplicada considera os objetivos comerciais, sendo voltada para o desenvolvimento de novos processos ou produtos orientados para as necessidades de mercado.

3.2.2 Pesquisas Quanto à forma de abordagem

Quanto à forma de abordagem a Pesquisa pode ser classificada como Quantitativa ou Qualitativa. Conforme ressalta Rodrigues (2007) a Pesquisa Quantitativa utiliza

técnicas estatísticas e números para classificar e analisar as informações, podendo mensurar e permitir o teste de hipóteses. Além disso, a pesquisa quantitativa é mais utilizada quando existem medidas quantificáveis com padrões numéricos relacionados ao cotidiano.

A Pesquisa Qualitativa utiliza de descrição minuciosa, ou seja, um registro do que acontece ao longo do tempo em determinado local ou situação. Ao contrário da Quantitativa, a pesquisa qualitativa leva em consideração a percepção e entendimento do pesquisador.

De acordo com Appolinário (2012, p. 61):

A Pesquisa qualitativa seria a que normalmente prevê a coleta de dados a partir de interações sociais do pesquisador com o fenômeno pesquisado, enquanto que a quantitativa prevê a mensuração de variáveis predeterminadas, buscando verificar e explicar sua influência sobre outras variáveis.

Em relação à natureza e à forma de abordagem, podemos classificar o presente trabalho como sendo uma pesquisa aplicada e quantitativa, pois serão analisados os indicadores de produtividade dos processos mecanizado e manual de soldagem de tubulações industriais. Os resultados de produtividade obtidos nessa avaliação serão utilizados para avaliar comparativamente o desempenho da aplicação da mecanização no processo FCAW na soldagem de tubulações industriais em relação a soldagem manual, com o processo SMAW.

3.2.3 Pesquisas Quanto aos fins

Quanto aos fins a pesquisa pode ser exploratória, descritiva ou explicativa. A pesquisa exploratória é utilizada quando existem poucos conhecimentos sobre o problema, ou seja, é a primeira aproximação com o tema. Esse tipo de pesquisa tem como objetivo estabelecer maiores informações sobre o assunto que será estudado, tornando-o mais claro e familiar aos pesquisadores e para o público-alvo.

Segundo Gil (2006, p.44) as pesquisas descritivas “têm como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômeno ou o

estabelecimento de relação entre as variáveis”. A principal diferença entre a pesquisa exploratória é que o assunto da pesquisa descritiva já é conhecido, além de proporcionar uma nova visão sobre os problemas.

Já a pesquisa explicativa caracteriza-se por tentar criar uma teoria sobre um fato, estabelecendo relações de causa nas diversas variáveis e identificando os fatores que interferem na ocorrência de um fenômeno. Este tipo de pesquisa é a que mais aproxima o conhecimento da realidade, utilizando-se de métodos experimentais.

A pesquisa desse trabalho é de caráter descritivo já que tem por objetivo estudar o desempenho da produtividade da soldagem mecanizada e manual de tubulações industriais, por meio de variáveis dos processos, obtidas durante a observação e coleta dos dados de desempenho dos processos.

3.2.4 Pesquisas Quanto aos Meios

Nessa fase do projeto de pesquisa são classificadas as formas para coleta de dados, podendo ser fontes impressas ou dados fornecidos por pessoas.

As fontes impressas são classificadas como pesquisa bibliográfica e documental. A pesquisa bibliográfica faz uso de referências teóricas publicadas em documentos, constituídos de livros e artigos científicos. Sendo assim esse tipo de pesquisa é muito utilizada para conhecer fatos passados.

Segundo Gil (2006) a pesquisa documental é muito semelhante à pesquisa bibliográfica. A diferença é que a pesquisa documental utiliza informações que ainda não foram analisadas.

Os dados fornecidos por pessoas podem ser coletados pela pesquisa experimental, pesquisa *ex-post-facto*, levantamento, estudo de campo e estudo de caso.

Gil (2006) define as diferentes formas de coleta de dados como:

- Pesquisa Experimental consiste em determinar um objeto de estudo, selecionando as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definindo as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.
- A Pesquisa *Ex-post-Facto* pode ser definida como uma investigação sistemática e empírica.
- O Levantamento (surveys) envolve a interrogação direta das pessoas cujo comportamento se deseja conhecer.
- No estudo de campo os levantamentos procuram mais o aprofundamento das questões propostas do que a distribuição das características da população segundo determinadas variáveis.
- O Estudo de caso é caracterizado pelo estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos de maneira a permitir o seu conhecimento amplo e detalhado.

Quanto aos meios, o tipo de pesquisa que será utilizado é o estudo de campo e estudo de caso. Campo, porque é por meio de visitas as obras da empresa, objeto do estudo, que serão coletados os dados referente a produção com os processos de soldagem que serão estudados; Estudo de caso, pois serão analisados o comportamento de processos de soldagem específicos com o objetivo de obter conhecimento sobre o desempenho de sua produtividade.

3.3 Universo e Amostra

Em um trabalho de pesquisa, como este, torna-se importante a definição do universo ou população e da amostra a ser considerada, tendo em vista as características e limitações impostas por elas no estudo.

Portanto, como este trabalho irá lançar mão destas técnicas, torna-se importante a definição de universo e amostra. De acordo com Gil (2006, p.99), “Universo é um conjunto definido de elementos que possuem determinadas características”, já

Appolinário (2012, p.129) define amostra como “subconjunto de sujeitos extraídos de uma população por meio de alguma técnica de amostragem”.

Neste trabalho o universo a ser pesquisado compreende juntas de tubulação industrial, que possuem como determinada característica, a união por processo de soldagem a arco elétrico, o qual compreende um universo de 84 juntas da linha de tubulação analisada.

Segundo Appolinário (2012), a maioria dos trabalhos de pesquisa utilizam de amostras, tendo em vista as limitações causadas no estudo do universo, como tempo e recursos financeiros. Portanto, são de fundamental importância o conhecimento e aplicação de técnicas específicas de amostragem da população.

As técnicas de amostragem são agrupadas em dois grandes grupos: probabilísticas, técnica em que todos os membros do universo têm igual possibilidade estatística de serem escolhidos (APPOLINÁRIO, 2012); Não probabilísticas, técnicas cuja seleção não estão fundamentadas em critérios matemáticos, seguem os critérios do pesquisador (GIL, 2006).

De acordo com Gil (2006) as técnicas de amostragem probabilísticas mais utilizadas são: aleatórias simples, sistemática, estratificada, por conglomerado e por etapas. Dentre as técnicas não probabilísticas destacam-se: por acessibilidade, por tipicidade e por cotas.

Neste trabalho será utilizada a técnica amostral não probabilística por tipicidade, que consiste numa técnica em que o pesquisador baseado em informações sobre o grupo, entende-se que é capaz de representar o universo (GIL, 2006).

Considerando o problema de pesquisa formulado, a técnica por tipicidade apresenta-se apropriada, pois baseado no conhecimento do pesquisador sobre o projeto da linha da tubulação que será soldada e dos processos de soldagem que serão aplicados, a saber mecanizado – FCAW e manual – SMAW, a amostra definida a ser estudada compreenderá o número total de juntas da linha de tubulação, objeto do estudo, que consiste em 84 juntas. Este critério foi definido considerando o

tempo hábil para a execução da soldagem das juntas, que compreenderá a finalização da montagem da linha de tubulação, sem comprometer a conclusão deste estudo.

Portanto a amostra deste estudo compreenderá 84 juntas, sendo que 42 serão soldadas pelo processo mecanizado – FCAW e 42 juntas pelo processo manual – SMAW; devidamente caracterizadas no item 3.4.

3.4 Caracterização da Empresa em Estudo e da Amostra

Devido à confidencialidade requerida sobre a identidade da organização onde serão apuradas as informações utilizadas neste estudo, esta será citada neste trabalho com o nome fictício de Montadora.

A Montadora é um empresa de médio porte, com sede em Belo Horizonte, que atua no setor de montagem industrial pesada, atendendo os setores de mineração, siderurgia, metalurgia, petróleo, papel e celulose, dentre outros. Atualmente possui mais de 3 mil colaboradores, atuando em projetos de montagem industrial nos estados de Minas Gerais e Pará.

A amostra compreenderá a soldagem de tubulação de aço carbono ASTM A 106 Grau B, P Number 1, Grupo 1, com espessura de 9,5 milímetros, diâmetro de 24 polegadas e comprimento de 12 metros. Os processos de soldagem usados na montagem dessa tubulação e o tamanho da amostra considerada são:

- **Manual – SMAW** – Será utilizado o procedimento de soldagem proposto no ANEXO A - 42 Juntas.
- **Mecanizado – FCAW** – Será utilizado o procedimento de soldagem proposto no ANEXO B - 42 Juntas.

3.5 Formas de Coleta e Análise dos Dados

Conforme Appolinário (2012), existem várias formas para que os dados possam ser coletados, tendo em vista os vários tipos e instrumentos de pesquisa, os quais têm

por finalidade permitir a coleta de informações sobre o objeto de estudo. Esta pesquisa utilizará como instrumentos para coleta de dados:

- Visitas técnicas à obra da Montadora, onde será realizada a avaliação dos processos de soldagem que serão aplicados, mecanizado – FCAW e manual – SMAW, e apuração dos indicadores de produtividade;
- Será utilizado formulário específico para coleta dos indicadores de desempenho da produção dos processos de soldagem estudados. O formulário que será utilizado tem como propósito permitir a coleta dos dados, para o posterior tratamento estatístico. Nos Apêndices A e B são apresentados os formulários para coleta dos dados.

Para análise dos dados coletados a estatística descritiva apresenta-se apropriada, considerando o objetivo proposto. De acordo com Appolinário (2012, p.150) a estatística descritiva “representa o conjunto de técnicas que têm por finalidade descrever, resumir, totalizar e apresentar graficamente os dados de pesquisa”.

A análise dos dados será centrada no estudo estatístico dos indicadores de produtividade e demais informações obtidas durante a etapa de coleta dos dados. Os dados serão organizados graficamente, por meio de Histogramas, cujo comportamento apresentado será analisado, buscando relacionar o desempenho dos processos de soldagem mecanizado e o manual.

3.6 Limitações da Pesquisa

Como já dito, devido à confidencialidade requerida pela organização objeto do estudo, esta será identificada com nome fictício de Montadora.

Este trabalho limita-se em responder o problema formulado, por meio da análise dos dados de produtividade apurados na observação dos processos de soldagem definidos no escopo deste estudo.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Definição da Amostra das Juntas

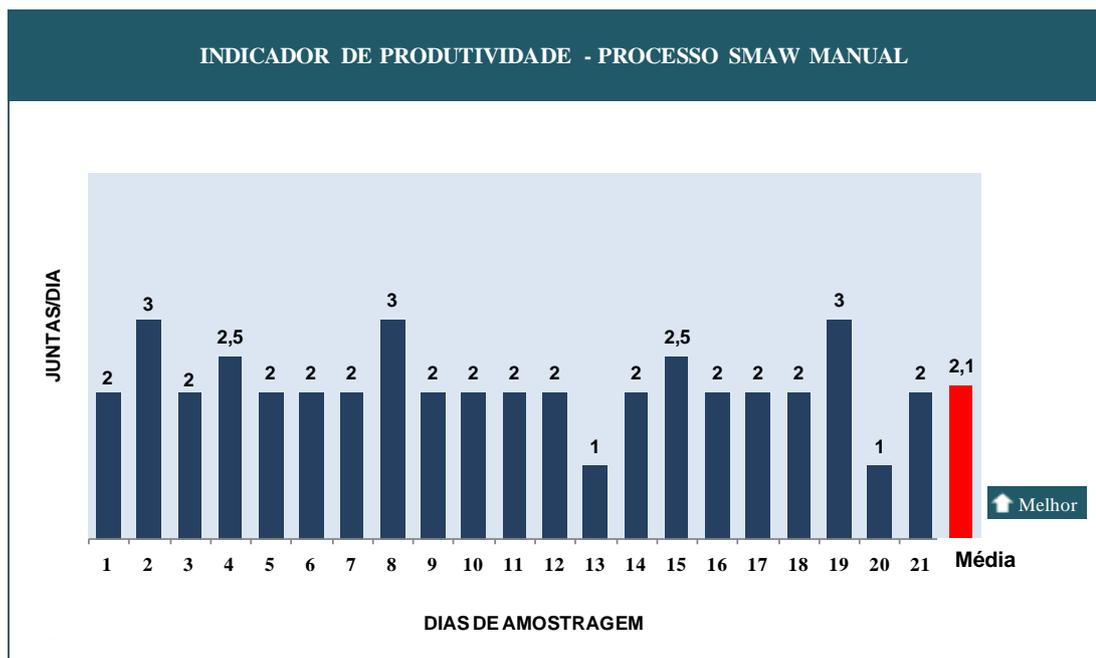
Considerando o escopo contratual da Montadora e o tempo hábil para apuração dos indicadores a serem utilizados neste estudo, foi definido como amostra deste trabalho, conforme descrito no item 3.4:

- 1) Tubulação de aço ASTM 106 Grau B, P Number 1, Grupo 1, com espessura de 9,5 milímetros e diâmetro de 24 polegadas;
- 2) Processo Manual – SMAW: 44 juntas;
- 3) Processo Mecanizado – FCAW: 55 juntas.

4.2 Indicador de Produtividade da Soldagem SMAW - Manual

A produtividade do processo de soldagem SMAW – Manual utilizado pela Montadora para realizar a união das tubulações que são objeto da amostragem deste estudo é mostrada no gráfico 1.

Gráfico 1 – Indicadores de Produtividade – Processo SMAW



Fonte: Autor (2014)

Os dados obtidos foram apurados durante 21 dias de atividades de soldagem de tubulação no campo. Os dados foram coletados por meio do formulário mostrado no apêndice A, sob responsabilidade do Supervisor de Soldagem da Montadora, com acompanhamento do autor deste trabalho.

Os resultados obtidos apresentaram uma média de desempenho de 2,1 juntas por dia, sendo que na maioria dos dias o desempenho ficou em 2 juntas por dia, com picos de 3 juntas/dia, considerando o uso de 2 soldadores por dia. Em análise junto com o Supervisor de Soldagem da Montadora, tendo como referência a experiência obtida no projeto, consideradas outras tubulações com especificações semelhantes, o desempenho obtido está coerente com o resultado típico observado na montagem das linhas de tubulação, que varia em torno de 2 a 3 juntas por dia.

Nota 1: Nos dias 13 e 20 o desempenho de 1 junta/dia pode ser explicado pelo fato de ser sábado e a jornada de trabalho ser de 4 horas, metade do expediente normal.

Para efeitos de comparação com o processo FCAW – Mecanizado, será considerada a produtividade média dividido por 2, tendo em vista o uso de dois soldadores durante a montagem. Isso foi necessário devido ao limitador de tempo que tínhamos para coletar as amostras. Portanto a produtividade corrigida do processo SMAW – Manual é de 1,05 juntas/dia.

Apesar de não ser o objetivo deste estudo, é importante ressaltar que a Montadora não possui indicador para monitorar a produtividade de seus processos de soldagem, sendo apurado o índice de produtividade da montagem de toda a tubulação, contemplando as etapas de corte, biselamento, acoplamento e soldagem. Portanto torna-se inviável a avaliação comparativa com o histórico da Montadora, tendo em vista que não existe histórico da produtividade da etapa de soldagem computado.

Portanto, em atendimento ao objetivo proposto é apresentado neste tópico o resultado da produtividade obtida com a amostragem de juntas de tubulação industrial soldadas pelo processo SMAW – Manual.

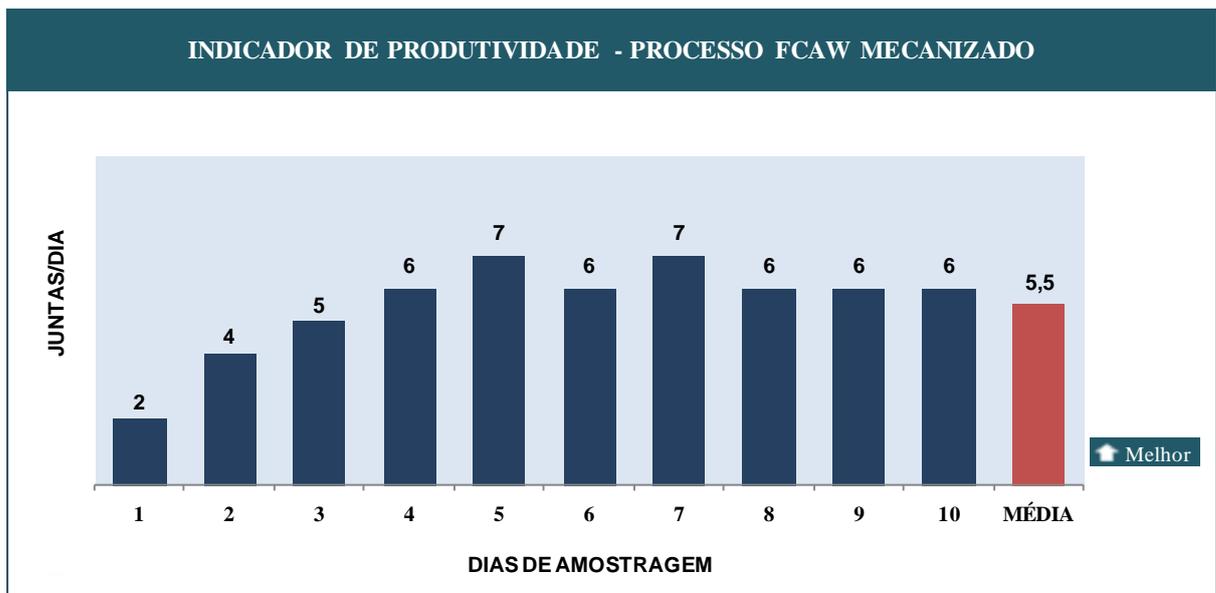
Uma discussão específica sobre as causas desta variação são apresentadas no item 4.4 deste trabalho.

4.3 Indicador de Produtividade da Soldagem FCAW – Mecanizado

A produtividade obtida com o processo de soldagem FCAW – Mecanizado, que é a inovação tecnológica implementada pela Montadora para aumentar a produtividade de seu processo de montagem de tubulação industrial, é mostrada no gráfico 2.

É interessante observar que, mesmo não possuindo método para apurar a produtividade de seu processo de soldagem na união de tubulações industriais, a Montadora, com base em seus dados gerais de produtividade na montagem de tubulações industriais e *benchmarking* realizado com empresas parceiras, identificou a oportunidade de investir na mecanização do processo. É essa inovação que motivou esse trabalho, e agora se procura avaliar os ganhos reais em produtividade, em comparação com a tecnologia tradicionalmente utilizada, que é o SMAW – Manual.

Gráfico 2 – Indicadores de Produtividade – Processo FCAW



Fonte: Autor (2014)

Os resultados de produtividade obtidos foram coletados pelo Supervisor de Soldagem da Montadora em um período de 10 dias de atividades de soldagem da

tubulação industrial com o uso da PIPE KAT®, no campo. A execução foi acompanhada pelo autor deste trabalho, principalmente na fase inicial de utilização do equipamento, tendo em vista necessidade de ajustes dos parâmetros de soldagem.

Os resultados apurados apresentaram uma média de desempenho de 5,5 juntas por dia. Entretanto, é importante não apenas apresentar o resultado final consolidado, conforme proposto no objetivo específico deste trabalho, mas descrever também o comportamento desta produtividade na amostragem das juntas soldadas, tendo em vista que trata-se de uma inovação, e a retenção do conhecimento dos fatores que implicam em sua operação é de fundamental importância para a Montadora e demais interessados neste estudo.

O gráfico apresenta de forma clara a dificuldade inicial da Montadora na implantação da tecnologia mecanizada de soldagem com o processo FCAW. Apesar do treinamento dos operadores e todo o desenvolvimento do procedimento de soldagem e testes realizados no “*pipe shop*” e campo. Durante o período de amostragem deste estudo ainda ocorreram dificuldades com a solda produzida, que apresentou poros que comprometiam a sua qualidade. Uma análise feita conjuntamente com a equipe de soldagem, foram identificadas falhas importantes na proteção da junta soldada, pois o tratamento dado foi semelhante ao dado para a soldagem tradicional, SMAW – Manual, entretanto devido ao uso do gás de proteção e o ambiente típico do campo, com correntes de vento significativas, foi necessária a adequação com o uso de cabines para a proteção da junta soldada. A adequação da proteção somada com ajustes na vazão do gás de proteção e ajustes dos parâmetros da PIPE KAT®, permitiu atingir os picos de 6 e 7 juntas por dia, conforme observado.

As falhas relacionadas acima combinadas com os ajustes realizados possibilitam justificar o aumento gradual da produtividade da soldagem FCAW – Mecanizada, conforme observado no gráfico 2. Um dado importante é que se forem retiradas as amostras referente ao dia 1 e 2, a média do desempenho de produtividade do processo sobe para 6,12 juntas por dia.

4.4 Comparação e Discussão dos Indicadores de Produtividade

Os resultados de produtividade obtidos e apresentados nos gráficos 1 e 2 confirmam o disposto no referencial teórico no que tange a maior produtividade do processo FCAW em comparação com o processo SMAW.

No entanto, torna-se importante destacar neste tópico a diferença de produtividade obtida com o uso do processo FCAW – Mecanizado em comparação ao processo convencionalmente utilizado pela Montadora, SMAW – Manual, que atingiu picos de 550%, após os ajustes realizados durante a operação do equipamento.

Os resultados apurados com o processo SMAW já eram previstos, considerando o histórico empírico informado em reuniões com as lideranças que atuam no processo de soldagem e a equipe de planejamento e medição da Montadora, que é de uma 1 junta por dia por soldador, considerando somente as etapas de enchimento e acabamento, na soldagem de tubulações com diâmetros de 22 a 26” e espessura variando entre 6,5 mm e 12,5 mm, que é o perfil do empreendimento, considerado neste estudo.

Esse resultado confirma uma característica típica do processo SMAW manual, que é de baixa produtividade. Entretanto é importante que na análise quanto à aplicação deste processo, seja considerado a sua versatilidade, como destacado pela equipe de soldagem da Montadora. É essa versatilidade que permite a sua aplicação em locais de acesso limitado, destaca-se ainda outros fatores decisivos para seu uso: mão de obra qualificada e abundante no mercado, fácil locomoção dos equipamentos pela obra, grande resistência ao ambiente hostil das obras industriais, vasta oferta de consumíveis no mercado, dentre outras características que contribuem também para promover certa resistência dos profissionais de soldagem aos avanços tecnológicos na área de soldagem.

Os resultados apurados com o uso do processo FCAW – Mecanizado apresentaram uma produtividade 5 a 6 vezes maior que o processo manual tradicionalmente utilizado pela montadora. Esse resultado apurado pelo estudo permite à Montadora confirmar os ganhos reais obtidos com a implantação da tecnologia, e ter um

referencial confiável para a tomada de decisão quanto a novos investimentos na automação de seus processos de soldagem.

Apesar de não ter sido proposto nesse estudo, como forma de complementação, foi realizado o cálculo da produtividade da montagem da tubulação industrial utilizando o indicador metros montados/homem-hora, neste caso metros montados/dia, além do já apresentado juntas soldadas/dia.

Processo SMAW- Manual: Considerando a produtividade média obtida de 1,05 juntas por dia, e a informação de que cada barra de tubo tem um comprimento de 12 metros, este indicador proposto de produtividade seria de 24 metros por dia, pois na prática considera-se apenas o número inteiro de juntas.

Processo FCAW – Mecanizado: Considerando a produtividade de 6,12 juntas por dia, a produtividade com o indicador proposto seria de 84 metros por dia, ou seja, 350% maior em comparação com o SMAW – Manual. Considerando o critério utilizado para o SMAW, que é do número inteiro de juntas.

5 CONCLUSÕES

A estimativa e análise dos indicadores de produtividade obtidos na utilização dos processos de soldagem FCAW – Mecanizado e SMAW – Manual permitiu responder o problema proposto neste estudo, que é avaliar e tornar conhecida a produtividade da soldagem de tubulações industriais, caracterizadas no item 3.4 deste estudo.

Os resultados obtidos combinados com a análise *in loco* dos processos de soldagem, permitiram ao autor apresentar constatações importantes e orientativas sobre os processos de soldagem analisados:

- O Processo SMAW – Manual apresenta como característica típica a baixa produtividade em comparação com os processos semi-automáticos e automatizados, no entanto é um processo muito versátil, característica fundamental para aplicação em empreendimentos de montagem industrial, que tem como perfil típico ambientes hostis sujeitos a vento, poeira, chuva, combinados com projetos de juntas com acesso limitado. Portanto apesar da automação ser uma alternativa importante para maximizar a produtividade, é possível atestar com este estudo que o processo SMAW – Manual é importante na indústria da construção e montagem e em determinadas condições a sua substituição é limitada, e até tecnicamente inviável.
- Quanto ao processo FCAW – Mecanizado a sua aplicação confirma o disposto no referencial teórico, quanto à alta produtividade. É de fato um processo em comparação com o SMAW – Manual bem mais produtivo, entretanto a sua concepção quanto a processo de soldagem a ser inserido na indústria da construção e montagem, deve ser objeto de uma análise profunda dos especialistas da área de soldagem da empresa, tendo em vista os requisitos inerentes a esta tecnologia, como: mão de obra qualificada, cultura da empresa, assistência técnica, perfil do projeto que é pretendida a aplicação, volume de atividades. Essas premissas são importantes para que a sua introdução na empresa não seja um fracasso.

Considerando a análise dos resultados de produtividade dos processos e sua aplicação no campo, foram identificadas importantes oportunidades de melhoria, que

não são mandatórias, mas indicações que adotadas pela indústria da construção e montagem, podem trazer ganhos significativos para a produtividade de seus processos de soldagem:

- Planejamento da atividade de montagem, considerando a etapa de soldagem de forma particular, tendo em vista o seu impacto na conclusão da montagem, portanto é importante estabelecer indicador e apurar a produtividade do processo de soldagem independente do processo de montagem como um todo;
- Análise detalhada das tecnologias disponíveis por uma equipe multidisciplinar, composta por especialistas em soldagem, engenheiros de produção, engenheiro de planejamento e comprador, antes de adquirir a tecnologia;
- Estruturar um programa de qualificação de mão de obra para uso da nova tecnologia adquirida, tendo em vista tecnologia embarcada que requer um maior conhecimento e habilidade de seu operador e supervisores de soldagem;
- Padronizar a operação do Processo Mecanizado, para que o conhecimento sobre o equipamento e sua operação seja retido na empresa, tendo em vista a rotatividade característica da indústria de construção e montagem;
- Análise dos projetos pelo especialista em soldagem da empresa, para que sejam definidos os processos a serem aplicados. De acordo com o atestado neste estudo, a melhor alternativa para a indústria da construção e montagem é a aplicação da combinação de processos, tendo em vista o perfil típico da montagem industrial, pois trata-se de um projeto único, com características bem particulares, como: locais de difícil acesso, uso em campo, pipe shop, dentre outras.

Como resposta ao questionamento que motivou este estudo, os processos de fato possuem produtividades diferentes, porém a combinação em sua aplicação na construção e montagem industrial é a alternativa mais adequada, para que a produtividade seja maximizada e os processos sejam compatíveis com os requisitos de construção e montagem dos projetos.

REFERÊNCIAS

AWS - *American Welding Society. Standard Welding Terms and Definitions*. EUA: AWS, 2001.

APPOLINÁRIO, F. **Metodologia da Ciência**: Filosofia e Prática da Pesquisa. 2. Ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

BRACARENSE, A.Q. **Processo de Soldagem TIG - GTAW**, Apostila. Belo Horizonte: UFMG – Escola de Engenharia – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2006. Disponível em: <http://www.ufmg.br/>. Acesso em: 26 de Setembro de 2014.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia Científica** : para uso dos estudantes universitários. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1983.

ESAB. **Apostila de Eletrodos Revestidos**. Contagem, 2005.

ESAB. **Apostila de Arames Tubulares**. Contagem, 2004.

FERNANDES, P.S.T. **Montagens Industriais**: Planejamento, Execução e Controle. São Paulo: Artliber, 2005.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. São Paulo: Atlas, 2006.

GIOIA, A.L.S.; JUNIOR, I.F.S. **Metodologia de Medição de Índices de Produtividade em Soldagem de Tubulações em Obras Industriais**. Niterói: Universidade Federal Fluminense, 2008. Disponível em: <http://www.uff.br>. Acesso em: 26 de Setembro de 2014.

GULLCO. **Orbital Pipe Welding Carriage – Pipe Kat®**, Manual. Canadá, 2014. Disponível em: <http://www.gullco.com/>. Acesso em: 18 de Outubro de 2014.

ISO - *International Standardization Organization. Norma 4063: Welding and Allied Processes and Reference Numbers*. Suíça, 1998.

MARQUES, P.V.; MODENESI, P.J.; BRACARENSE, A.Q. **Soldagem**: Fundamentos e Tecnologia. Belo Horizonte: UFMG, 2013.

MARTINS, J. L. F; FERREIRA, M. L. R. **Avaliação da Produtividade do Processo de Soldagem de Eletrodo Revestido através de Simulação pelo Método do Hipercubo Latino**. In: 10º Congresso Ibero-Americano em Engenharia Mecânica – CIBEM, 2011, Portugal.

MEDEIROS, R.C. **Apostila de Soldagem**: Montagem Industrial. Brasil, 2005.

MODENESI, P.J.; MARQUES, P.V. **Soldagem I**: Introdução aos Processos de Soldagem, Apostila. Belo Horizonte: UFMG – Departamento de Engenharia Metalúrgica, 2006.

Disponível em: <http://www.ufmg.br/>. Acesso em: 28 de Setembro de 2014.

PEIXOTO, L.F.P; GOMES, M.L.B. **Ganhos em produtividade decorrentes de inovação tecnológica na construção civil:** o uso dos distanciadores plásticos no sub-setor de edificações. In: 26° ENEGEP, 2006, Fortaleza.

PETROBRAS. **N-1438:** Terminologia Soldagem. Rio de Janeiro, 2008.

RODRIGUES, W.C. **Metodologia Científica.** Paracambi: FAETEC/IST, 2007
Disponível em: <http://www.professor.ucq.br/>. Acesso em: 12 Junho de 2012.

SINK, D.S. ***Productivity Management: Planning, Measurement and Evaluation, Control and Improvement***, Somerset. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc., 1985.

TELLES, P.C.S. **Tubulações Industriais.** Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1987.

UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá. **Processos de Soldagem**, apostila. Itajubá, 2006.

Disponível em: <http://www.ppg.efei.br>. Acesso em: 29 de Setembro de 2014.

APÊNDICE A – Formulário Acompanhamento Processo de Soldagem - FCAW

APÊNDICE B – Formulário Acompanhamento Processo de Soldagem – SMAW

ANEXO A – Especificação do Processo de Soldagem – SMAW - Manual

ESPECIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM - EPS								
ESPECIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM EPS: TIG+ER 245.001						DATA: 26/05/2002		
REVISÃO 00			DATA: 26/05/2002			RQPS: 245.001		
PROCESSO DE SOLDAGEM.: TIG+ER						TIPO: MANUAL		
DETALHES DA JUNTA (QW-402)				METAL DE BASE (QW-403)				
				P-Nr.	Grupo:	P-Nr.	Grupo:	
				1	1	1	1	
				Especificação/tipo e grau: A 135 GrA / A 53 Gr B / API 5 L Gr B A 181CL 60/ A 234 / A 105				
				Faixa de espessura: Chanfro: 4,8 a 44,0 Filete: TODAS				
Outros:								
POSIÇÃO DE SOLDAGEM (QW-405)				METAL DE ADIÇÃO (QW-404)				
Posição de Soldagem: TODAS				SFA	AWS	F-Nr.	A-Nr.	Dimensão (mm)
Chanfro:								
Progressão de Soldagem:	Ascendente	Descendente	5.18 ER 70 S3 6 1					
	X		5.1 E 7018 4 1					
Posição do Filete:								
PRÉ-AQUECIMENTO (QW-406)				Faixa de espessura:				
Temperatura de Pré-aquecimento - 5% ACIMA DA T.A				PROCESSO TIG.: ATÉ 16 mm Filete: TODAS				
Temperatura de Interpassos - Máx.: 250 °				ER.: ATÉ 28 mm Filete: TODAS				
Outros:				Eletrodo-Fluxo (classificação): NÃO APLICAVEL				
TRATAMENTO TÉRM. APÓS SOLDAGEM (QW-407)				Marca Comercial do Fluxo:				
Faixa de Temperatura: NÃO APLICAVEL				Outros:				
Faixa de Tempo:								
Outros:								
GÁS (QW-408)				TÉCNICA (QW-410)				
Composição Percentual				Cordão filetado e/ou traçado: FILETADO				
	Gas (es)	Mistura	Vazão (l / min)	Dimensão do orifício para saída de gás:				
Proteção	Argônio	99,98	12	Limpeza inicial e interpassos: ESMERILHAM/ESCOVAMENTO				
Trailing				Método de goivagem:				
Backing				Stickout:				
CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS (QW-409)				Passes múltiplos ou simples (por lado): SIMPLES				
Eletrodo Tungstenio: ENTH2 DIAMT.: 3,25				Eletrodos múltiplos ou simples: SIMPLES				
Modo de transf. do metal para				Outros:				
Faixa de velocidade de alimentação do								
Outros:								
PARÂMETROS DE SOLDAGEM								
Camadas	Processos	Metal de Adição		Corrente		Voltagem (V)	Outros	
		Classificação	Diâmetro (mm)	Tipo/ Polaridade	Amperagem (A)			
01	TIG	ER 70 S3	3,25	CC (-)	70 a 200	8 a 16		
02	ER	E 7018	2,5	CC (+)	75 a 115	25 a 30		
02	ER	E 7018	3,25	CC (+)	110 a 150	25 a 30		
Responsável: 26/05/2002			Verificação: 28/05/02			Cliente: 28/05/02		
Brites, Edgar Cândido Inspeção de Solda ENOC 180 493 N1								

ANEXO B – Especificação do Processo de Soldagem – FCAW - Mecanizado

ESPECIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM (EPS) WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)		EPS Nº: WPS No.: EPS 291-001					
		Data Date: 28/11/2013	Folha: 1 / 2 Page:				
		RQPS's Nº: RQR's No.: RQPS 291-001					
Normas de referência e ano de edição: Reference Standards and edition year: ASME B31.3 Ed. 2012 / ASME VIII Div. 1 Ed. 2013 / ASME IX Ed. 2013							
Processo de Soldagem (1º): Welding Process (1st): GTAW		Tipo: Type: (X) Manual () Semi-automático () Mecanizado/Mechanized					
Processo de Soldagem (2º): Welding Process (2nd): FCAW		Tipo: Type: () Manual () Semi-automático (X) Mecanizado/Mechanized					
QW-402- Junta: <p>Obs.: Os desenhos acima têm finalidade orientativa. Os tipos de juntas devem ser conforme definidos nos desenhos de fabricação. Note: The above drawings are for orientative purpose. The joints types shall be according to the fabrication drawings.</p>							
Variáveis Variables		Valores reportados no RQPS PQR reported values		Faixa Qualificada Range qualified			
QW-403 / QW-405 - METAIS DE BASE / POSIÇÃO Base Metals / Positions	ESPECIFICAÇÃO DO METAL DE BASE Base metal specification	METAL DE BASE 1 Base metal 1	METAL DE BASE 2 Base metal 2	P Nº 1 / Grupos Nº 1 ou 2 <u>com</u> P Nº 1 / Grupos Nº 1 ou 2			
	Nº P/Gr ou S + Nº P/Gr ou S P/Gr or S-No. + P/Gr or S-No.	P Nº 1 / Grupo Nº 1	P Nº 1 / Grupo Nº 1				
	ESPESS. METAL BASE (mm) Base metal thickness	13,6 a 15,3	14,0 a 14,5				
	ESPESS. MÁX. CORDÃO ≤13 mm Maximum Pass Thickness ≤ 13 mm	SIM / Yes					
	DIÂMETRO DO TUBO Pipe diameter	Ø Externo 18"		Qualquer			
	TIPO DE CHANFRO Groove type	V Simples		Qualquer			
	TIPO DE JUNTA Joint type	De Topo		Qualquer			
	POSIÇÃO DE SOLDAGEM Welding position	5 G		Qualquer			
	PROGRESSÃO DE SOLDAGEM Welding progression	Ascendente (X) Uphill	Descendente () Downhill	Ascendente (X) Uphill	Descendente (X) Downhill		
	COBRE JUNTA Backing	Sem (GTAW) / Com (FCAW)		Com ou Sem (GTAW ou FCAW)			
QW-404 - METAIS DE ADIÇÃO Filler metals	LOCALIZAÇÃO Localization	RAIZ Root	ENCHIM./ACABAM. Filling/Finishing	TUNGSTÊNIO Tungsten	RAIZ Root	ENCHIM./ACABAM. Filling/Finishing	TUNGSTÊNIO Tungsten
	ESPESS. METAL DEPOSIT. (mm) Deposited weld metal thickness	GTAW = 6,2	FCAW = 7,4	N.A.	GTAW Máx. 12,4	FCAW Máx. 14,8	N.A.
	ESPECIFICAÇÃO SFA SFA Specification	SFA 5.18	SFA 5.20	SFA 5.12	SFA 5.18	SFA 5.20	SFA 5.12
	CLASSIFICAÇÃO AWS AWS Classification	ER70S-3	E71T-1M	EWTh-2	ER70S-3	E71T-1M	Qualquer
	DIÂMETRO (mm) Diameter	3,18	1,2	2,4	2,4 a 3,2	1,2 a 1,6	2,4 a 3,2
	NÚMERO F: F number	6	6	N.A.	6	6	N.A.
	NÚMERO A: A number	1	1	N.A.	1	1	N.A.
	FABRICANTE Manufacturer	GERDAU - São José dos Campos-SP	Esab - Contagem-MG	Carbografitte - Produto importado	Qualquer	Qualquer	Qualquer
	NOME COMERCIAL Trademark	Arame p/ solda TIG ER70S3	OK Tubrod 71 Ultra	Carbografitte	Qualquer	Qualquer	Qualquer
	CLASSIF. ELETRODO + FLUXO Electrode + Flux Classification	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
	FLUXO: TIPO E NOME COMERCIAL Flux: Type and Trademark	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
	INSERTO CONSUMÍVEL Insert	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
TIPO DE CONSUMÍVEL Filler metal type	Vareta	Arame Tubular	N.A.	Vareta	Arame Tubular	N.A.	
Obs. / Remarks: a- N.A. (Não Aplicável / Not Applicable). b- O processo FCAW dessa EPS, aplica-se à soldagem mecanizada orbital, a ser realizada com o equipamento modelo PK-200-C do fabricante Gulco (Canadá).							
Inspetor de Soldagem: Welding Inspector: Alexandre Arruda de Campos Inspetor de Soldagem - Nível II SNUL 150613N2		Controle da Qualidade: Quality Control: Wilson Martins da Silva Engº de Qualidade CREA - MG 0000128317D		Cliente: Customer: Fabricia Maria Guimarães Silva			

ESPECIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM (EPS) WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)		EPS Nº: WPS No.: EPS 291-001			
		Data Date: 28/11/2013	Folha: Page: 2 / 2		
Variáveis Variables	Valores reportados no RQPS PQR reported values		Faixa Qualificada Range qualified		
QW-406: CONTROLE DE TEMPERATURAS Temperatures control	PRE-AQUECIMENTO (°C) Preheating	25 (GTAW) e 35 (FCAW)			
	TEMPERAT. INTERPASSES (°C) Interpass temperature	Máximo 93,2 (GTAW) e 68 (FCAW)			
	POS-AQUECIMENTO Postheating	N.A.			
	MÉTODO DE AQUECIMENTO Heating method	Maçarico			
	MÉTODO DE RESFRIAMENTO Cooling method	Ao ar livre			
	Obs. / Remarks	Observação 1: Pré-aquecer até 50°C quando a temperatura do Metal de Base for menor do que 15°C.			
QW-407: TRATAM. TÉRM. APOS SOLDA Postweld Heat	FAIXA TEMPERAT. PATAMAR (°C) Temperature Range	N.A.			
	TEMPO DE PATAMAR Time Range	N.A.			
	OBSERVAÇÕES: Remarks	N.A.			
QW-408: GASES Gases	LOCALIZAÇÃO Localization	Gás de proteção Shielding gas	Gás de purga Backing gas	Gás de proteção Shielding gas	Gás de purga Backing gas
	TIPO Type	Inerte (GTAW) / Ativo (FCAW)	N.A.	GTAW (Inerte) / FCAW (Ativo)	N.A.
	COMPOSIÇÃO PERCENTUAL Percent Composition	99,9 Ar (GTAW) / 75 Ar + 25 CO ₂ (FCAW)	N.A.	99,9 Ar (GTAW) / 75 Ar + 25 CO ₂ (FCAW)	N.A.
	TAXA DE VAZÃO (L / min.) Flow rate	14-15 (GTAW) / 28 (FCAW)	26	10-16 (GTAW) / 22-30 (FCAW)	N.A.
	FABRICANTE / MARCA COMERCIAL Manufacturer / Trademark	White Martins / White Martins (GTAW) e White Martins / Stargold TUB (FCAW)	N.A.	Qualquer	N.A.
	Obs. / Remarks	N.A.		N.A.	
QW-409: CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS Electrical characteristics	LOCALIZAÇÃO Localization	RAIZ Root	ENCHIM./ACABAM. Filling/Finishing	RAIZ Root	ENCHIM./ACABAM. Filling/Finishing
	TIPO DE CORRENTE Current type	Contínua	Contínua	Contínua	Contínua
	POLARIDADE Polarity	Direta	Reversa	Direta	Reversa
	AMPERAGEM (A) Amperage	130 - 206	220 - 260	90 - 220	150 - 300
	VOLTAGEM (V) Voltage	8 - 13	26,6 - 27,1	10 - 15	27 - 33
	VELOCIDADE DE SOLDAGEM (Cm/min.) Welding speed	4,80 a 10,09	18,21 - 21,10	N.A.	N.A.
	ENERGIA DE SOLDAGEM Heat input	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
	MODO DE TRANSFERÊNCIA Transfer mode	N.A.	Spray	N.A.	Spray ou Globular
	Obs. / Remarks	N.A.		N.A.	
QW-410: TÉCNICA Technique	LOCALIZAÇÃO Localization	RAIZ Root	ENCHIM./ACABAM. Filling/Finishing	RAIZ Root	ENCHIM./ACABAM. Filling/Finishing
	RETILÍNEO / OSCILADO String / Weave	Oscilado	Oscilado	Retilíneo ou Oscilado	Retilíneo ou Oscilado
	OSCILAÇÃO Oscillation	7,4 a 14,9mm	13 a 20mm	Máximo 20mm	Máximo 30mm
	DIÂMETRO DO BOCAL (mm) Gas Nozzle diameter	10 e 12	16	6 - 20	14 - 22
	DISTÂNCIA BICO CONTATO-PEÇA Stick-out (mm)	N.A.	20 - 25	N.A.	18 a 27
	PASSES MÚLTIPLOS OU SIMPLES Multipass or Single pass	Múltiplos	Múltiplos	Simples ou Múltiplos	
	ELETRODOS MÚLTIPLOS ou SIMPLES Single / Multiple Electrodes	Simple	Simple	Simple	
	MÉTODO DE LIMPEZA INICIAL Initial cleaning method	Esmerilhamento e Escova de aço. Ver observação 2.		Esmerilhamento e/ou Escova de aço. Ver observação 2.	
	MÉTODO LIMPEZA INTERPASSES Interpass cleaning method	Esmerilhamento e Escova de aço.		Esmerilhamento e/ou Escova de aço. Ver observação 2.	
	MÉTODO DE LIMPEZA FINAL Final cleaning method	Esmerilhamento e Escova de aço.		Esmerilhamento e/ou Escova de aço.	
	MÉTODO DE GOIVAGEM Method back gouge	N.A.	N.A.	Esmerilhamento	
Observações gerais / General remarks: Observação 2: Após a preparação da superfície, pode ser aplicado o verniz protetivo do Fabricante: BADEN INDUSTRIAL QUÍMICA LTDA., Marca Comercial: BASE PROTETIVA ECOLÓGICA, Código VP-300, Método de aplicação: Pincel. Soldar após o verniz seccr.					
Inspetor de Soldagem: Welding Inspector:	28/11/2013		Controle da Qualidade: Quality Control:	Cliente: Customer:	
Alexandre Arruda de Campos Inspetor de Soldagem - Nível II SNO C ISO 615M2		Wilson Martins da Silva Engº de Qualidade		Fabricia Maria Guimarães Silva	

