

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE GESTÃO E ECONOMIA
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DA PRODUÇÃO

MARLON WISCHRAL

**AUTOMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE SOLDAGEM DA TUBULAÇÃO DE ÓLEO
DE MOTORES E GERADORES**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2017

MARLON WISCHRAL

**AUTOMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE SOLDAGEM DA TUBULAÇÃO DE ÓLEO
DE MOTORES E GERADORES**

Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Engenharia da Produção.

Orientador: Prof. M. Eng. Tiago R. Weller

CURITIBA

2017

TERMO DE APROVAÇÃO

AUTOMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE SOLDAGEM DA TUBULAÇÃO DE ÓLEO DE MOTORES E GERADORES

Esta monografia foi apresentada no dia 04 de março de 2017, como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Engenharia da Produção – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato apresentou o trabalho para a Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após a deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. M. Sc. Tiago Rodrigues Weller
Orientador

Prof. Dr. M. Sc. Wanderson Stael Paris
Banca

Prof. Dr. Leonardo Tonon
Banca

Visto da coordenação:

Prof. Dr. Paulo Daniel Batista de
Sousa

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por me dar forças para chegar ao final de mais uma jornada, também dedico em memória do meu pai que não esteve ao meu lado, mas sempre acreditei que se estivesse aqui, estaria me apoiando.

AGRADECIMENTOS

A minha esposa Irene Zapella Wischral e minha filha Isabelle Luana Zapella Wischral pela paciência, incentivo e motivação demonstrados em todos os momentos, sempre sonhando com esta conquista.

Ao meu gerente Sr. Moacir Aristides Moretti, pelo incentivo em participar desta pós-graduação.

A todos os professores que passaram os seus conhecimentos para que eu me aprimorasse durante o decorrer da pós-graduação, em especial ao professor Tiago R. Weller pelas orientações, dedicação e pelo apoio prestado durante a elaboração deste trabalho.

Aos colegas da pós-graduação, pela convivência, amizades realizadas e pelas experiências trocadas no decorrer do curso.

A todos que colaboraram direta ou indiretamente com a realização deste trabalho, o meu sincero agradecimento.

“O êxito da vida não se mede pelo caminho que você conquistou,
mas sim pelas dificuldades que superou no caminho”.

Abraham Lincoln

RESUMO

WISCHRAL, Marlon. Automatização do processo de soldagem da tubulação de óleo de motores e geradores. 2017. 40 f. (Especialização em Engenharia da Produção) – Departamento de Gestão e Economia - DAGEE, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

Na empresa WEG Equipamentos Elétricos – divisão Energia, utiliza-se diversos processos de soldagem para os processos de fabricação de peças, como solda TIG(*Gás Tungsten Welding*), solda MIG/MAG(*MIG – Metal Inert Gás*) e (*MAG – Metal Active Gás*), solda por arco submerso(SAW), solda oxiacetileno, etc. A procura por processos de soldagem versáteis e de alta produtividade é uma necessidade contínua, em especial na união de tubos que são utilizados para o transporte de óleo e água em diversas situações que utilizamos em nossa empresa nos motores e geradores. O presente trabalho trata de uma proposta de substituir o processo de soldagem manual da tubulação de lubrificação dos mancais a óleo dos geradores e motores para o processo de solda orbital automática, focando na melhoria da qualidade e conseqüentemente no aumento da produtividade. Os cabeçotes orbitais são utilizados na mecanização da soldagem de tubos e dutos em uma variedade de espessuras, em situações em que a qualidade da solda deve estar em conjunto com a produtividade. Com a apresentação dos conceitos de vários autores dos processos de solda hoje utilizados e os conceitos da solda orbital a serem propostos. Eles provam que o processo produtivo fica eficaz, com uma melhor qualidade e um aumento da produtividade.

Palavras-chave: Soldagem Orbital. Produtividade. Processos.

ABSTRACT

WISCHRAL, Marlon. Automation of the process of welding of the oil piping of motors and generators. 2017. 40 f. Monografia. (Especialização em Engenharia da Produção) – Departamento de Gestão e Economia - DAGEE, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

In the company WEG Electrical Equipment - Energy division, several welding processes are used for the manufacturing processes of parts, such as welding TIG (Gás Tungsten Welding) welding, MIG/MAG (MIG- Metal Inert Gás and MAG- Metal active Gás) welding, submerged arc welding (SAW), oxyacetylene welding, etc. The demand for versatile and high productivity welding processes is a continuous need, especially in the union of tubes that are used to transport oil and water in various situations that we use in our company in motors and generators. The present work deals with a proposal to replace the process of manual welding of the lubrication tubing of the oil bearings of the generators and motors for the automatic orbital welding process, focusing on improving quality and consequently increasing productivity. The orbital heads are used in the mechanization of welding pipes and ducts in a variety of thicknesses, in situations where the quality of the weld must be in conjunction with the productivity. With the presentation of the concepts of several authors of the welding processes used today and the concepts of the orbital weld to be proposed. They prove that the production process is effective, with better quality and increased productivity.

Keywords: Orbital Welding. Productivity. Processes.

LISTRA DE FIGURAS

Figura 1: Parque Fabril WEG em Jaraguá do Sul	12
Figura 2: Processo de solda TIG	16
Figura 3: Representação das posições de soldagem orbital	18
Figura 4: Alimentação contínua	19
Figura 5: Alimentação dinâmica	20
Figura 6: Ângulo do chanfro	23
Figura 7: Acabamento das peças.....	23
Figura 8: Desenho de produto.....	24
Figura 9: Montagem de tubulação de óleo de motores e geradores	24
Figura 10: Falha na solda raiz.....	25
Figura 11: Solda completa.....	26
Figura 12: Chanfro para soldagem manual de tubos	27
Figura 13: Chanfro para soldagem TIG orbital de tubos	28
Figura 14: Fonte PS 406-2	29
Figura 15: Cabeçote de solda	30
Figura 16: Alimentador externo de fio	31

LISTRA DE QUADROS

Quadro 1: Fluxograma do processo	22
Quadro 2: Indicador de montagem de tubulação.....	26
Quadro 3: Dados para chanfro em J	28
Quadro 4: Orçamento.....	36
Quadro 5: Retorno de investimento	36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA	11
1.1.1 Informações Gerais da Empresa	11
1.1.2 WEG Energia	12
1.2 TEMA DA PESQUISA	13
1.3 JUSTIFICATIVA	13
1.4 OBJETIVO GERAL	14
1.4.1 Objetivos Específicos	14
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2 REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1 PROCESSOS DE SOLDA TIG (GTAW)	15
2.1.1 Vantagens	17
2.1.2 Limitações	17
2.2 Processo de Solda Orbital	18
3 MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1 ESTUDO DE CASO	21
3.2 PROCESSO E PROBLEMAS	21
3.2.1 Descrição do Processo	23
3.2.2 Problema da Pesquisa	25
3.2.3 Problema de Processo	27
3.3 PREPARAÇÃO DAS PEÇAS PARA PROCESSO SOLDA ORBITAL	27
4 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS	32
4.1 RESULTADOS GERAIS	32
4.1.1 Equipamentos	32
4.1.2 Fatores Externos	33
4.1.3 Procedimentos Orbitais	33
4.2 DEMAIS FATORES	34
4.3 ANÁLISE FINAL	35
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

A globalização trouxe para a realidade das empresas brasileiras concorrentes globais, acirrando ainda mais a busca por eficiência e qualidade.

Uma forma de contornar os problemas que aparecem nas empresas é a implantação constante de melhorias e aperfeiçoamento de seus processos produtivos, com a finalidade de aumentar a sua produtividade, reduzir as suas perdas e conseqüentemente aumentar a sua eficiência. Visando destacar-se no cenário competitivo, as empresas devem focar em aperfeiçoar e agregar maior valor ao processo produtivo.

O desenvolvimento deste trabalho tem grande importância no processo produtivo de solda de tubulações que são utilizadas para lubrificação dos mancais de motores e geradores de grande porte produzidos pela empresa WEG Equipamentos Elétricos SA – Divisão Energia.

1.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

Neste capítulo serão apresentadas informações gerais da empresa onde o trabalho está sendo desenvolvido.

1.1.1 Informações Gerais da Empresa

O sucesso empresarial de Werner Ricardo Voigt, Eggon João da Silva e Geraldo Werninghaus começou em 16 de setembro de 1961. Os três fundaram a Eletromotores Jaraguá, que anos mais tarde veio a se tornar a conhecida WEG SA (onde o nome se origina da junção das três iniciais). Sendo uma das maiores fabricantes de equipamentos elétricos do mundo, a WEG atua nas áreas de comando e proteção, variação de velocidade, automação de processos industriais, geração e distribuição de energia e tintas e vernizes industriais. No Brasil, o grupo tem sua sede e principais unidades em Jaraguá do Sul, Santa Catarina (figura 1). Suas demais fábricas ainda estão espalhadas pelo Rio Grande do Sul, Santa Catarina, São Paulo, Amazonas e Espírito Santo. Já no exterior a WEG possui unidades na Argentina, Colômbia, México, Estados Unidos, Áustria, Alemanha, Portugal, África do Sul, China

e Índia, além de instalações de distribuição e comercialização espalhadas por diversos países.

Produzindo inicialmente motores elétricos, a WEG começou a ampliar suas atividades a partir da década de 80, com a produção de componentes eletroeletrônicos, produtos para automação industrial, transformadores de força e distribuição, tintas líquidas e em pó e vernizes eletroisolantes. Cada vez mais a empresa está se consolidando não só como fabricante de motores, mas como fornecedor de sistemas elétricos industriais completos. A trajetória da organização, idealizada por Werner, Eggon e Geraldo, é marcada pelo êxito. O conjunto de valores, crenças e ideais sustentados pelos fundadores estão enraizados na organização e ditam os caminhos vitoriosos pelos quais a empresa trilha sua história. A essência destemida, dinâmica e grandiosa é a fonte que mantém a WEG funcionando em direção ao sucesso.



Figura 1: Parque Fabril WEG em Jaraguá do Sul
Fonte: WEG (2016).

1.1.2 WEG Energia

A partir de uma pequena fábrica de motores elétricos no interior de Santa Catarina, a WEG se tornou uma indústria focada em soluções eletroeletrônicas sinérgicas presente no mundo inteiro. As empresas do grupo, organizadas em 5 grandes negócios – Energia, Transmissão & Distribuição, Automação, Motores e Tintas – refletem uma verdadeira integração no fornecimento de soluções completas para qualquer segmento de mercado. Com a experiência de quem já produziu mais

de 71.200 MVA de potência em geradores, a WEG Energia oferece uma ampla gama de produtos para as mais diversas aplicações, desde as mais simples até as mais dedicadas nos diversos ambientes. Além da comercialização dos produtos, a WEG Energia mantém constante preocupação com o serviço pós-venda, com uma rede especializada no atendimento ao cliente, oferecendo suporte técnico em aplicações e instalações.

Processo produtivo verticalizado, aliado à customização de projetos, são diferenciais da WEG Energia no mercado em que atua. Estes diferenciais proporcionam aos clientes maior flexibilidade e agilidade na entrega, além de garantir alto padrão de qualidade durante as etapas de fabricação. Maquinários modernos e equipe técnica preparada garantem um portfólio abrangente, agregando valor a cada solução desenvolvida.

1.2 TEMA DA PESQUISA

Conforme mencionado na introdução temos no processo de montagem de tubulação de óleo para lubrificação dos mancais dos motores e geradores na empresa WEG Equipamentos Elétricos – Divisão Energia e com o tema desta pesquisa verificamos possíveis alterações que podem auxiliar na melhoria da qualidade e conseqüentemente um aumento da produtividade nos processos de soldagem.

1.3 JUSTIFICATIVA

Este trabalho traz informações importantes sobre as diferenças dos processos de solda manual e automatizada. Alterando este processo para soldagem automatizada através da solda orbital, ganharemos na produtividade pois após ter montado toda tubulação através de ponteamto, o processo de solda orbital possibilita fazer o restante da solda no mesmo local sem precisar alterar posição de soldagem, pois o equipamento faz a solda em 360°, comprovando que a alteração neste processo só vem a auxiliar na redução dos tempos do processo e na melhoria da qualidade.

Outro item que podemos considerar é a facilidade na montagem e operação do equipamento de soldagem orbital proposto. Sendo assim, uma vez que o programa é ajustado, o sistema será capaz de repetir muitas vezes, diminuindo erros e defeitos.

1.4 OBJETIVO GERAL

O objetivo principal é analisar o processo de soldagem das tubulações de lubrificação de mancais de motores e geradores de grande porte de forma a propor um processo que se consiga um incremento de qualidade e de produtividade.

1.4.1 Objetivos específicos

Com a intenção de substituir o processo de solda de tubulação para obter ganhos de qualidade e produtividade, temos alguns objetivos específicos:

- a) Avaliar o processo atual considerando toda produção de soldagem de tubulação na operação manual.
- b) Avaliar o processo proposto de soldagem de tubulação com sistema orbital.
- c) Comparar os dois processos analisando qual oferece maior qualidade e maior produtividade.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Introdução: Nesta etapa é exposta uma introdução sobre o assunto escolhido, bem como uma apresentação breve da empresa.

Revisão da literatura: São as explicações sobre os assuntos envolvidos durante a pesquisa, qualificando e explicando cada um deles de forma bem ampla.

Materiais e métodos: São apresentados os meios em que o objetivo será aplicado, contemplando os materiais necessários e como será aplicado e desenvolvido juntamente com eles.

Apresentação de resultados: Após feita a pesquisa e o total levantamento de dados deve-se obter um resultado para que seja analisado e ter finalmente um veredito sobre o assunto e o método a ser implantado na empresa.

Considerações finais: A partir da pesquisa, o autor é capaz de expor sua opinião e consideração cujo objetivo é mostrar o que a pesquisa revelou e ensinou, assim como avaliar os resultados e todo o decorrer do projeto.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 PROCESSOS DE SOLDA TIG (GTAW)

De acordo com a empresa DBC Oxigênio (2014), os princípios contidos na soldagem com arco protegido por gás começaram a surgir e serem entendidos por volta do ano 1800, após Humphry Davy's descobrir o arco elétrico, onde inicialmente utilizava um eletrodo de carbono. Já em 1890, C. L. Coffin idealizou a utilização do arco elétrico dentro de um gás inerte, mas ainda haviam dificuldades na soldagem de materiais não ferrosos como alumínio e magnésio, devido ao fator onde estes materiais reagem rapidamente com o ar, gerando porosidade e conseqüentemente, soldas de baixa qualidade.

Os processos existentes que utilizavam eletrodos revestidos também não eram capazes de proteger a área de soldagem de uma maneira satisfatória nos materiais não ferrosos e as soldas então continuavam com uma qualidade inferior. Porém, em 1930, para resolver esses problemas começaram a utilizar de um gás inerte engarrafado, a fim de proteger a área de soldagem. Em seguida, utilizando uma fonte de energia DC, conseqüentemente protegida com gás inerte onde, segundo documentos de pesquisas, surgiu nas indústrias aeronáuticas da época o processo que permitia a solda de magnésio.

Já em 1941, o processo estava completo e então foi nomeado e ficou conhecido como processo *Heliarc* ou *tungsten inert gas*, abreviado para o processo TIG, porque utilizava um eletrodo de tungstênio e hélio como gás de proteção. Segundo Wainer, Brandi e Mello (2004) foi considerada perfeito, quando se começou a utilização de correntes alternadas com adição de alta frequência (HF), a partir de onde se conseguia um arco estável que permitia soldar ligas de alumínio e magnésio com perfeição e uma boa qualidade de solda.

Já nos anos de 1950 o processo se tornou popular, passando a ser utilizado o argônio como gás de proteção no lugar o hélio, por ser economicamente mais barato. Uma das inovações durante a criação do processo como conhecemos hoje, foi a utilização da "corrente pulsada".

O equipamento varia entre altas e baixas amperagens, sendo que na mais alta faz a solda e na mais baixa solidifica e esfria o material que está sendo soldado. Com isto conseguimos soldar materiais com o mínimo de "empenamento" por temperatura.

Através de observações, constata-se importantes avanços no uso da eletrônica nas máquinas de solda atuais. Com isso e juntamente com máquinas computadorizadas, tem-se obtido maior precisão nas regulagens da soldagem, associado a um aumento de qualidade e produtividade.

No processo de soldagem TIG – *Tungsten Inert Gas Welding*, também conhecido como GTAW – *Gas Tungsten Arc Welding*, o arco elétrico se estabelece entre a peça de trabalho e um eletrodo de tungstênio.

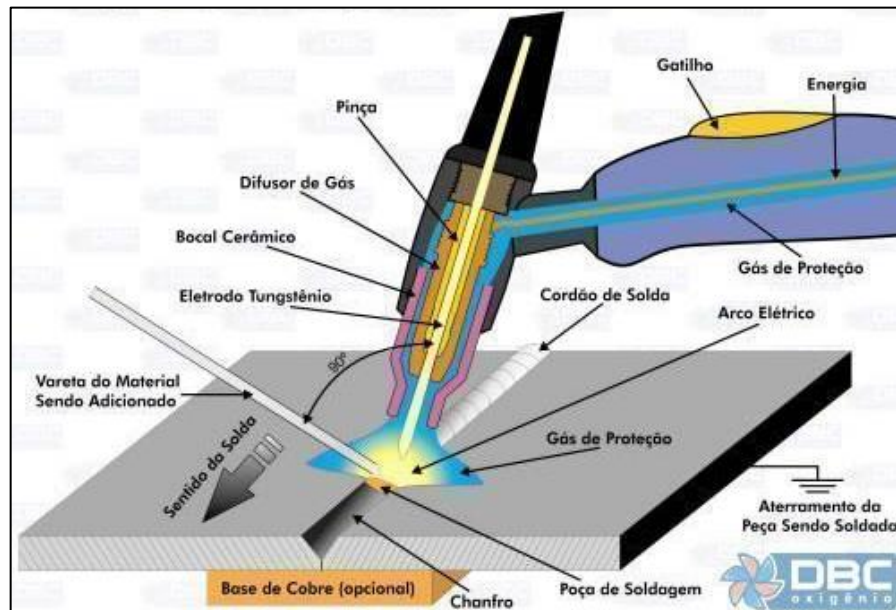


Figura 2 - Processo de solda TIG
Fonte: DBC OXIGÊNIO

Ainda de acordo com a empresa DBC Oxigênio (2014), tanto a poça de fusão e o eletrodo são protegidos contra os efeitos do ar atmosférico por um gás inerte, cujo fluxo é direcionado por um bocal que circunda o eletrodo. Um gerador de faísca (conhecido como gerador de alta frequência – AF) ativa o arco elétrico entre o eletrodo e a peça. Como o eletrodo não é consumível serve apenas como terminal de um dos polos não sendo adicionado à poça de fusão. Ainda conforme a empresa DBC, conseqüentemente são utilizados eletrodos de material de alto ponto de fusão que suportam temperaturas acima de 3.500°C como o tungstênio. Para solda de aço, cobre, níquel, titânio, etc, é utilizada corrente contínua com polaridade direta (eletrodo conectado ao terminal negativo) aquecendo menos o eletrodo se comparado com a polaridade inversa.

O alumínio e suas ligas utiliza-se a corrente alternada. A corrente alternada dá um arco que limpa a chapa no ciclo positivo, permitindo ao metal fluir facilmente. O argônio é utilizado como gás de proteção no processo de soldagem TIG. E para casos específicos são utilizados o Hélio (He), misturas de Argônio/Hélio ou a mistura de Argônio/Hidrogênio. O processo TIG, torna-se mais comum em soldagens de chapas finas de aço inoxidável e metais não ferrosos, como alumínio, magnésio e ligas de cobre.

A solda TIG proporciona ao soldador um grande controle do processo, muito acima que o dos processos com eletrodos revestidos ou MIG/MAG. Com isto, se consegue soldagens resistentes com altíssima qualidade de acabamento. Entretanto, é um processo complexo, lento e mais difícil de dominar como outros processos de soldagem conhecido, tais como eletrodos revestidos e MIG/MAG.

2.1.1 Vantagens

As vantagens são baseadas em informações advindas da empresa DBC Oxigênio.

- Soldas de excelente qualidade;
- Acabamento do cordão de solda;
- Menor aquecimento da peça soldada;
- Baixa sensibilização à corrosão Inter granular;
- Ausência de respingos;
- Pode ser automatizado;
- Custo do equipamento bastante razoável (atualmente);
- Consumíveis e acessórios facilmente encontrados no mercado.

2.1.2 Limitações

As referentes limitações foram resultantes de pesquisas encontradas com a empresa DBC Oxigênio.

- Dificuldade de utilização em presença de corrente de ar;
- Inadequado para soldagem de chapas de mais de 6 mm, para as quais temos outros processos mais eficazes;
- Produtividade baixa devido a baixa taxa de deposição de material;

Processo depende da habilidade do soldador, quando não automatizado à noite.

2.2 PROCESSO DE SOLDA ORBITAL

A união de tubos em campo exige um processo de soldagem robusto, capaz de executar procedimentos em todas as posições. A crescente demanda por linhas dutoviárias (*pipelines*), na indústria de petróleo e gás, estimulou o desenvolvimento de sistemas mecanizados capazes de soldar deslocando o arco de maneira a orbitar a peça.

Os sistemas orbitais tornaram possível a soldagem de raiz em 360°. A soldagem orbital é o procedimento de soldar tubos, pelo movimento circular da ferramenta de soldadura ao redor da peça de trabalho (Lima II, et al., 2005). Para isso, a parametrização deve ser realizada levando-se em consideração o controle do escoamento da poça de fusão nas diferentes posições. O modo mais difundido de se atingir este objetivo consiste na pulsação da corrente em baixas frequências (1Hz a 5Hz). Durante a fase de pulso ocorre a fusão intensa de material, enquanto que na base, a poça se contrai. Verifica-se também vantagens metalúrgicas, como por exemplo o refino de grão (MANNION, 2000). A representação das posições de soldagem em um procedimento orbital é exibida na Figura 3.

De modo a facilitar a identificação das regiões, convencionou-se dividir o tubo com base nos ponteiros de um relógio.

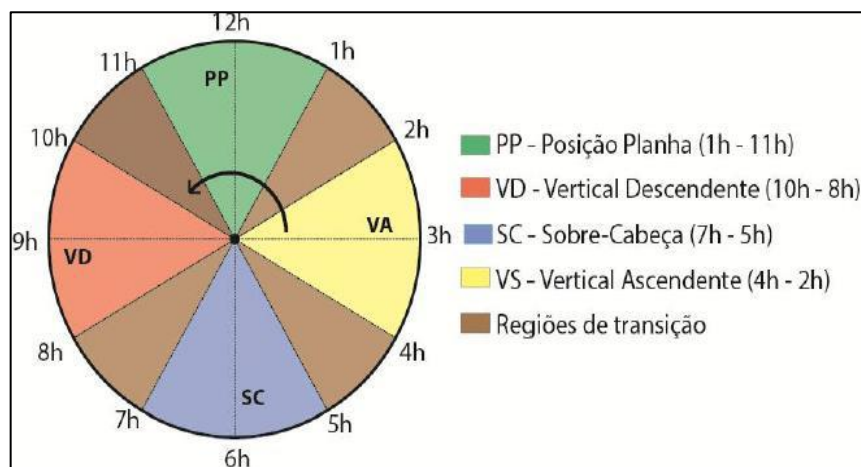


Figura 3: Representação das posições de soldagem orbital.
Fonte: PIGOZZO (2014)

O sentido de soldagem depende da disposição dos equipamentos. Com base nesta representação é possível utilizar um sistema de sincronização que identifique a posição do robô e varie os parâmetros elétricos durante o procedimento. Em alguns sistemas, este controle é fundamentado na contagem do número de passos dados pelo motor (PIGOZZO, 2014)

O algoritmo apresenta a desvantagem de ter de iniciar sempre em um ponto de referência, fato relevante em aplicações industriais nas quais o operador reinicia o processo devido a alguma falha. No entanto, segundo Li, Lu e Zhang (2013) as metodologias mais eficientes têm sido estudadas considerando o uso de acelerômetros instalados na tocha. Desta forma, pode-se identificar o ângulo e relacioná-lo com o parâmetro mais adequado, independentemente da posição de referência.

As técnicas de alimentação mais comuns utilizam as vertentes com arame à temperatura ambiente ou arame pré-aquecido, ambos inseridos continuamente na poça de fusão. Recentemente foi implementada a tecnologia de alimentação dinâmica. Ainda não foram realizados estudos que permitem concluir se este método dispensa a pulsação em baixa frequência e como seus parâmetros de estabilidade se comportam em um procedimento de 360°. As figuras exibem duas configurações possíveis para o sistema TIG Orbital.

A figura 4 faz uso da alimentação contínua, enquanto que a figura 5, de alimentação dinâmica.



Figura 4: Alimentação contínua
Fonte: TIP TIG (2016)

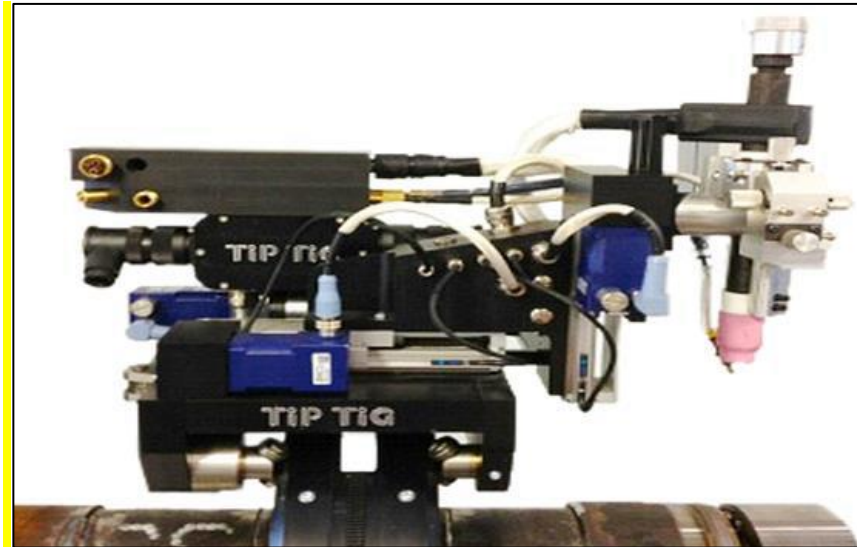


Figura 5: Alimentação Dinâmica
Fonte: TIP TIG (2016)

Ao comparar os processos de soldagem MIG/MAG e TIG, ambos na modalidade orbital, constata-se que a união de tubos com o MIG/MAG é realizada em duas etapas de 180°. Isto acontece em virtude da diferença entre as geometrias geradas na soldagem ascendente e descendente. Os tempos mortos são significativos com este procedimento. Por outro lado, o processo TIG é capaz de produzir soldas homogêneas em um passe de 360°.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foi proposto uma melhoria no processo de soldagem de tubulação a fim de ganhar produtividade e qualidade na empresa WEG Equipamentos Elétricos SA. - Divisão Energia, no setor de montagem.

3.1 ESTUDO DE CASO

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi utilizado a metodologia “estudo de caso”. Que, por meio de observações foi constatado o problema envolvendo o tempo gasto para realizar as soldagens na empresa WEG S.A., assim originando uma possível solução baseada na implementação do processo de solda do tipo TIG, que tornam o processo em geral mais eficiente e mais barato a longo prazo.

O estudo de caso consiste na observação de um problema mal estruturado, gerando questionamentos e possibilidades de solução, promovendo, através de discussões e análises, o raciocínio crítico e argumentativo dos indivíduos. Essa metodologia segundo Yin (2005) tratada como uma importante estratégia de pesquisa pois permite ao investigador um aprofundamento sobre o assunto estudado e avaliado.

3.2 PROCESSO E PROBLEMAS

A seguir o fluxograma do processo, a descrição do processo e problemas listados:

O que fazer?	Como fazer?	Quem?
Preparar materiais	Manualmente, com auxílio de ponte rolante, empilhadeira e lista técnica	Preparador de materiais
Simular montagem e preparar suportes dos tubos	Posicionando as peças da tubulação partindo do mancal até o final do flange de acoplamento do cliente conforme lista técnica. Colocar suportes na posição final.	Soldador
Cortar tubos	Posicionar os tubos na serra fita com auxílio da talha. Medindo com auxílio de trena. Prendendo o tubo na morsa da serra. Efetuando o corte do tubo.	Soldador
Preparar chanfro nos tubos	Prender tubos em uma morsa para tubos, fazer os chanfros com auxílio de lixadeira pneumática ou biseladora pneumática.	Soldador
Conferir chanfro	Conferir medidas com auxílio de transferidor de grau	Soldador
Fazer limpeza interna e externa da borda do tubo antes de soldar	Removendo qualquer impureza em uma área de 20mm da face da raiz no interno e externo do tubo, utilizando lixadeira, retifica ou escova manual	Soldador
Regular a máquina de solda	Regulando a máquina de solda conforme	Soldador
Montar e Pontear tubulação	Montando as peças da tubulação no motor/gerador conforme Lista Técnica com auxílio de sargentos específicos quando possível e carro para transporte de tubos com regulagem. Pontear com solda TIG em três pontos da junta distanciados em 120° observando as cotas conforme desenho do conjunto hidráulico	Soldador
Desmontar e Transportar a tubulação para área de solda	Desmontando a tubulação do motor/gerador. Transportando a tubulação para a área de solda com auxílio do carro para transporte de tubos	Soldador
Realizar a solda raiz com a tubulação ponteadas	Realizando a solda raiz sempre com avanço ascendente, tomando como referência um relógio das 6 horas em direção às 12 horas, tanto no sentido horário quanto anti-horário.	Soldador
Fazer limpeza da solda raiz	Escovando as juntas soldadas com auxílio da escova rotativa ou manual	Soldador
Realizar solda de acabamento	Iniciando a camada da solda de acabamento no meio do cordão inferior. Soldando com avanço ascendente tomando como referência um relógio das 6 horas em direção às 12 horas, tanto no sentido horário quanto anti-horário.	Soldador
Inspecção da solda	Inspecionando a solda com líquido penetrante conforme norma	Soldador
Apontar ordem de fabricação	Apontando ordem de fabricação	Preparador de materiais

Quadro 1: Fluxograma do processo
Fonte: Autoria própria.

3.2.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO

Ao iniciar este processo, primeiramente o preparador separa todas as peças e tubos conforme a lista técnica, o soldador prepara todas as conexões fazendo o chanfro de $\pm 37^\circ$ e limpeza interna ($\pm 20\text{mm}$), para eliminar as impurezas conforme as figuras 6 e 7.



Figura 6: Ângulo do chanfro
Fonte: Autoria própria.



Figura 7: Acabamento das peças
Fonte: Autoria própria.

3.2.2 Problema da Pesquisa

Neste momento vem a dificuldade que muitas vezes depende da habilidade dos soldadores, dependendo da posição que o soldador prende a tubulação em uma morsa ele vai efetuando a solda circundando o tubo.

Sequência do processo após a desmontagem da tubulação:

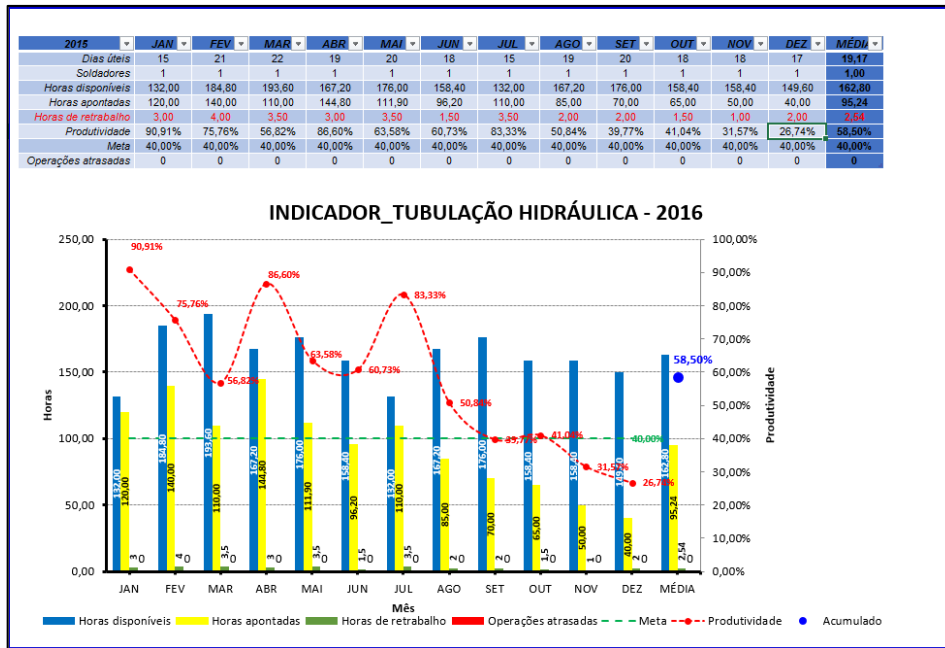
- a) Faz a solda de raiz iniciando em um ponto até $\pm 120^\circ$, para o processo;
- b) Vira a peça na morsa e continua a soldagem de onde parou até mais 120° ;
- c) Vira novamente o tubo e continua até finalizar a solda raiz;



Figura 10: Falha na solda raiz
Fonte: Autoria própria.

Antes de iniciar a segunda camada de solda o soldador prepara as emendas da solda que possivelmente ficaram com falha, através do lixamento destes pontos e assim sucessivamente segue o processo até preencher todo chanfro existente e fazer acabamento.

Conforme mostra no gráfico dos indicadores (quadro 02), a média anual de tempo de retrabalho é de 2,54 horas, que totaliza um custo de retrabalho por ano R\$ 3.747,82.



Quadro 02: Indicador de montagem de tubulação
 Fonte: Autoria própria.

A quantidade de camadas de solda varia de acordo com o diâmetro do tubo e do chanfro que é realizado na preparação das peças no início.



Figura 11: Solda completa
 Fonte: Autoria própria.

3.2.3 Problemas de processo

Durante todo o processo podem acontecer problemas do tipo:

- a) Falha nas emendas devido as paradas durante o processo;
- b) Porosidade da solda;
- c) Descontinuidade da solda;
- d) Trincas;
- e) Excesso de respingo;
- f) Inclusão de escória.

Durante o estudo deste trabalho selecionamos alguns fornecedores para que trouxessem suas tecnologias para fazer a demonstração e verificar a possibilidade da implantação destas melhorias.

3.3 PREPARAÇÃO DAS PEÇAS PARA PROCESSO SOLDA ORBITAL

A preparação padrão para a soldagem manual de tubos, curvas, peças em T e flanges é um chanfro em V com fenda. Por razões diferentes, este tipo de preparação não pode ser utilizado para a soldagem orbital (uma folga é inaplicável na soldagem TIG orbital, pontos de soldagem por aderência são impossíveis de remover, não é possível obter proteção de gás de apoio, etc.). As preparações para a soldagem orbital são sempre concebidas como um chanfro sem qualquer fenda na face da raiz. Por razões de acessibilidade, os ângulos das preparações padrão V têm de ser aumentados para 30° ou mesmo para 37° . Com este tipo de chanfro não é possível obter uma penetração regular; pelo contrário, dependendo da posição da solda ocorrem concavidades significativas.

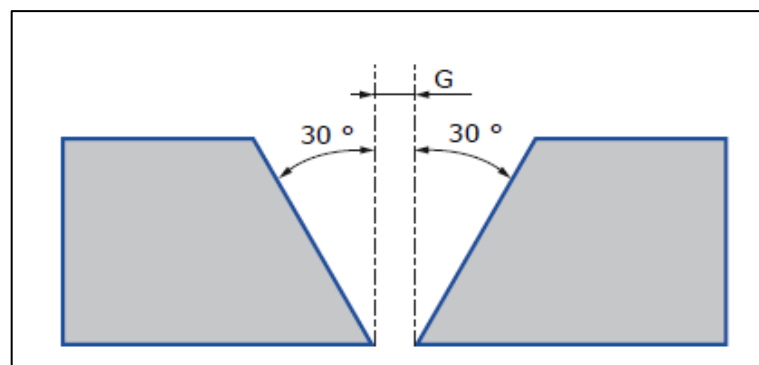


Figura 12: Chanfro para soldagem tubos
Fonte: POLYSOUDE (2016)

Para evitar problemas e obter a penetração uniforme desejada, tem de ser feita uma preparação do chanfro em J com um colar da largura L e da espessura T. Indicações sobre a geometria recomendada da preparação em relação ao diâmetro e espessura do tubo são apresentadas no quadro 2:

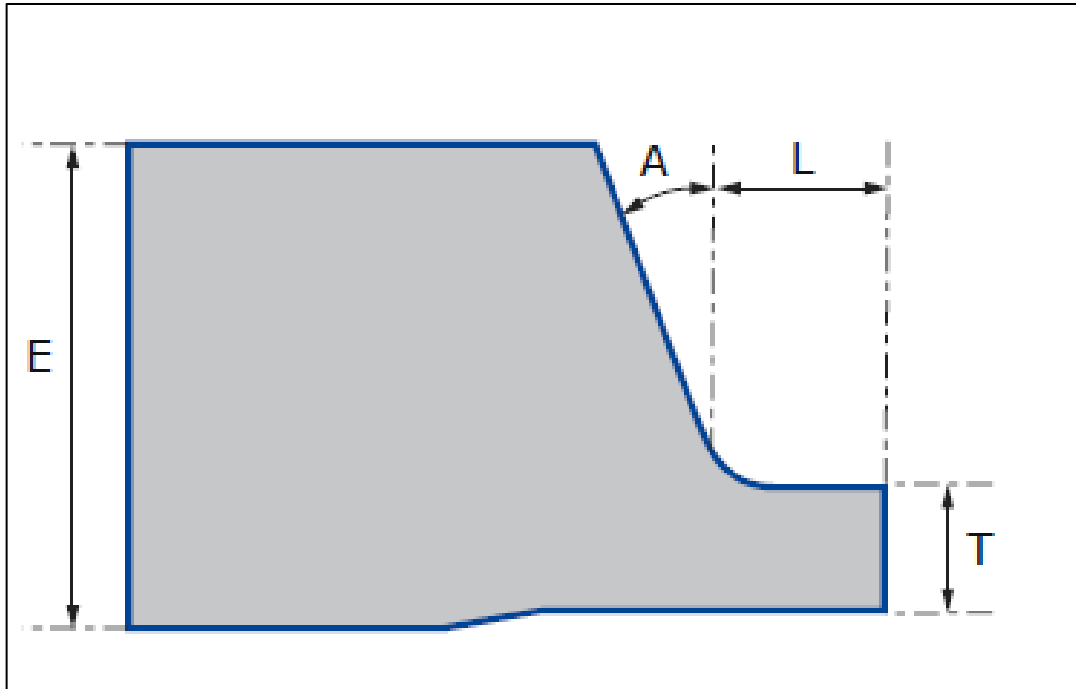


Figura 13: Chanfro para soldagem TIG
Fonte: Autoria própria.

Espessura de parede (mm)	Angulo A (°)	Gola (L) e Nariz (T) (mm)	
	A	T	L
3 < E ≤ 6	30°	1	2
E ≤ 6		1,5	2
10 ≤ E ≤ 15	20°		

Quadro 3: Dados para chanfro em J
Fonte: Autoria própria.

Para a soldagem orbital esta preparação dos chanfros deve ser usinada para obter uma espessura T com uma tolerância aceitável ($\pm 0,2$ a $0,3$ mm). Para garantir a necessária precisão e repetitividade da preparação de solda, devem ser utilizadas máquinas para a preparação das conexões. Para obter soldas repetitivas ótimas, as preparações de fim de solda devem ser:

- Planas;
- Cortado ou biselado com um ângulo constante predefinido;
- Sem rebarbas ou com um mínimo de rebarba que é aceitável pelo procedimento de soldagem.

Antes de iniciar a soldagem orbital, os tubos devem ser posicionados e soldados por pontos. A fim de evitar falhas de penetração durante a colocação da solda raiz, as extremidades dos tubos preparados devem encaixar perfeitamente entre si: não é permitida folga. Após toda a preparação das peças e montagem da tubulação conforme a solicitação do fabricante, iniciou-se a preparação do equipamento de demonstração. Abaixo seguem os equipamentos utilizados na demonstração com informações técnicas:

- FONTE PS 406-2 380/400 V +/- 10% TRIFÁSICO, 60Hz, VERSÃO 6 EIXOS



Figura 14: Fonte PS 406-2
Fonte: POLYSOUDE (2016).

Controle remoto, PC integrado com tela de 5,7", Controle de rotação da tocha com emissor de pulso e freio eletrônico, Controlador de alimentação do arame, Controle AVC e OSC, Controle dos cabeçotes com emissor de pulso, Controle de gás da tocha com solenoide e detecção de vazão, Impressora integrada para a impressão de valores programados e reais, Gravação e transferência de programas via pen-drive USB, Circuito de refrigeração com detecção fluxo baixo, Cabo terra.

- KIT MULTI-VOLTAGEM (200/208/220/230/240/380/400/415/440/460/480 V +/- 10%)

Mangueira de gás, Regulador de pressão e de vazão para argônio, Cabo de extensão de 15m para cabeçotes com AVC/OSC

- CABEÇOTE DE SOLDA MU IV 42/115 (P) AVC/OSC



Figura 15: Cabeçote de solda
Fonte: POLYSOUDE (2016).

Para tubo O.D. 42 mm a O.D. 115 mm (\varnothing 1 1/4" a 4" sch), Para utilização com alimentador de arame, Tocha inclinável (0 a 45°) com acessórios para arame, Tocha refrigerada, Maleta de proteção com espuma no interior, Cabo de alimentação com 9m (extensões sob encomenda), Caixa de ferramentas e consumíveis.

- ALIMENTADOS EXTERNO DE ARAME – POLYFIL-3



Figura 16: Alimentador externo de fio
Fonte: POLYSOUDE (2016).

- Alimentador externo de arame – \varnothing 300 mm – 15 kg, Para arame de \varnothing 0,8mm e \varnothing 1,0mm.

Toda soldagem da tubulação foi realizada sem que a mesma fosse necessária desmontar qualquer parte para que seja feito em separado, com acompanhamento de um técnico responsável das empresas fornecedoras.

4 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados encontrados durante todo processo de soldagem da tubulação que foi acompanhado pelos técnicos dos fabricantes

4.1 RESULTADOS GERAIS

De modo geral pode-se dizer que os resultados obtidos mostraram competência dos equipamentos diante do processo orbital, bem como o levantamento e compreensão da problemática e de fatores determinantes e influentes na soldagem TIG orbital. No escopo deste trabalho foram abrangidos diversos fatores que atuam sobre os resultados, desde o processo de fabricação das juntas até o arranjo dos cabeçotes na área de montagem, que interferiu diretamente na alimentação de arame em alguns ensaios orbitais; além dos procedimentos de soldagem estabelecidos.

4.1.1 Equipamentos

Em relação ao equipamento, as melhorias efetuadas tiveram êxito em sua aplicação. O controle do AVC a partir de duas tensões de referência garantiu melhor controle do processo, permitindo a regulagem de parâmetros bem definidos, atribuindo melhor acuracidade sobre o a energia de soldagem imposta à peça, bem como sanando a instabilidade de alimentação devido a variação da altura do arco.

O sincronismo entre a fonte e cabeçote foi crucial para que o sistema pudesse operar em correntes pulsadas. O método implementado se mostrou eficaz e de fácil operação. Ademais, os tempos de sincronismo regulados no cabeçote puderam ser confirmados pelas aquisições via SAP.

Ainda sobre os equipamentos, os dispositivos mecânicos projetados concederam um dos objetivos do estudo, que foi conferir as influências e metodologias para a alimentação do arame. O direcionador projetado permitiu as regulagens necessárias, podendo ser alteradas durante o procedimento. A liberdade para atuar no ângulo de alimentação durante o procedimento previne possíveis contaminações no eletrodo, além de corrigir o tipo de alimentação, que em algumas situações, pode vir a ser destacada. O estudo também consistiu de uma análise bastante abrangente

das variáveis influentes sobre procedimentos orbitais. Iniciando pela fase de preparação da junta, os métodos de usinagem influem diretamente sobre os resultados. Para procedimentos manuais, o fato de se ter adoçamento pode não ser um grande problema, uma vez que, a junta será presente de *gap* e o preenchimento será monitorado pelo soldador, o que compensa possíveis *high-low* presentes no *top gap*. Porém para processos mecanizados, a uniformidade da junta é um requisito, pois as definições dos parâmetros são influenciadas pelas variações da geometria junta. Neste caso, o uso do *ID-Tracker* para evitar o processo de adoçamento foi crucial para os resultados e conclusões deste trabalho. Este dispositivo permitiu que a junta fosse usinada uniformemente ao longo de toda a circunferência, garantindo resultados mais confiáveis, além de melhor controle do processo sobre a formação da raiz.

4.1.2 Fatores Externos

Ainda sobre fatores externos ao procedimento, o alinhador utilizado para a preparação dos corpos de prova permitiu um acoplamento entre peças muito bem alinhado, livre de *high-low*, e espaçamento entre os CP's. Assim como a geometria do chanfro, o alinhamento das peças também são fatores bastante relevantes para um procedimento qualificado. Com este dispositivo, concatenado com o uso do *ID-Tracker*, a ovalização presente nas peças se torna uma variável compensável. Além disto, no âmbito científico, o alinhador pode ser usado para “desnivelar” as peças, permitindo *high-lows* propositais, que foi o caso do CPJ09.

4.1.3 Procedimentos Orbitais

Quanto aos procedimentos orbitais, os resultados conferidos mostraram que os aspectos geométricos dos cordões resultantes apresentaram uma variação que se repetiu para diferentes níveis de energia e também na presença do *high-low*. Na posição plana foi verificado que a raiz tende a apresentar um reforço acentuado, fato este explicado pela ação gravitacional e também pela pressão imposta pelo arco, favorecendo o escorrimento para o lado interno do tudo. À medida que se adentra na região vertical descendente a penetração da raiz começa a reduzir e a concavidade torna-se presente. O ponto de inflexão se deu entre as regiões de 9 e 10h. À medida que o cordão prossegue para a região sobre-cabeça, a concavidade da raiz aumenta,

mostrando seus valores máximos entre as regiões de 7 e 6h. Esta região foi o ponto de inflexão das curvas de “reforço da raiz”, onde a partir de então a concavidade passa a diminuir e o reforço aumentar.

Este comportamento geométrico permitiu que os ensaios com variação de parâmetros fossem diretos para as posições em que a concavidade e/ou reforço foram excessivos. A adequação dos parâmetros pela variação do nível de energia mostrou melhores resultados quando se variou o tempo de pulso, ao invés de corrente e velocidade de soldagem. Com uma energia de soldagem mais baixa, a poça se torna menos fluida, e com largura reduzida, não acopla-se aos flancos do chanfro. Estes fatores são determinantes na formação da concavidade de raiz. Ademais, o nível de energia reduzido, diminuiu os valores de reforço de raiz na posição plana.

O ensaio em 360° com variação de parâmetros mostrou uma geometria mais uniforme ao longo do cordão. Os níveis de reforço e concavidade da raiz foram reduzidos, em grande parte, à zero. O fator de forma neste cordão apresentou valores mais elevados e próximos entre si, o que também define uniformidade geométrica. Neste caso, conclui-se que a variação dos parâmetros é de suma importância para garantir um cordão de solda uniforme. Este fator é relevante quando se trata de soldagem multipasses, pois quando o preenchimento é variado nas diferentes posições, os passes de acabamento apresentam reforços excessivos ou até mesmo, exigem um passe extra para completar a solda em algumas regiões.

4.2 DEMAIS FATORES

Outra conclusão que pode ser retirada a partir dos resultados geométricos é que um fator de forma mais alto, refletido pela diminuição da largura principalmente, concatenou em níveis de concavidade menores. Cordões que apresentam largura elevada ancoram a poça fundida nos flancos do chanfro que, tanto por forças devido tensão superficial tanto pelas contrações de solidificação, “puxam-na” para cima causando o rechupe.

Em relação à alimentação de arame, os ensaios comparativos entre alimentação destacada e contínua mostraram que, embora os resultados sejam favorecidos pela alimentação destacada, isto é, os cordões apresentam menor largura, maior penetração, e fatores de forma mais elevados, este tipo de alimentação não torna o processo robusto, pois a contaminação do eletrodo neste caso é iminente.

Desse modo, a alimentação contínua do arame deve ser buscada e considerada como um requisito para a soldagem TIG orbital mecanizada. Este tipo de alimentação pode ser controlado por meio do ângulo de alimentação, não necessitando variações de parâmetros, o que mostra novamente a importância da liberdade de variar o ângulo no direcionador de arame.

4.3 ANÁLISE FINAL

Com os fatos descritos ao longo deste trabalho, pode-se concluir que o processo TIG orbital é uma alternativa para a soldagem do passe de raiz com grandes expectativas de crescimento de aplicações em campo, não apenas de ligas especiais, mas também de aços baixa liga/não ligados. O fato de ser possível um procedimento em 360° faz com que os parâmetros de produtividade não sejam definidos apenas em períodos de arco aberto, mas também na redução de tempos mortos. A possibilidade de um procedimento em 360° permite também que o cabeçote faça procedimentos em ambos os sentidos (horário e anti-horário). Isto representa uma grande vantagem, pois os passes de preenchimento podem ter as variações geométricas compensadas pela mudança e direção de soldagem, ora vertical ascendente, ora descendente, permitindo procedimentos sem variação de parâmetros ao longo da junta.

Além da possibilidade de soldagem do passe de raiz em um único passe de 360°, a soldagem TIG permite procedimentos multipasses sem a necessidade de preparação da junta, neste caso, fazer a “unha” entre os cordões, o que evita possíveis contaminações, reduz ainda mais os tempos mortos e poupa a necessidade de retrabalho, sendo esta, refletida também pelo fato do processo ser livre de escória e respingos. Neste caso, o procedimento usual entre passes se reduz apenas ao escovamento da superfície do cordão para remoção da camada de óxidos formada a cada passe.

Após todas as demonstrações do equipamento realizando a soldagem de toda tubulação com ótimos resultados de qualidade, os fornecedores nos enviaram os orçamentos que fora enviado a nossa diretoria.

Orçamento Completo do Equipamento	Referencia	Quant.	Valor
Fonte PS 406-2 380/400 V +/- 10% Trifásico, 60Hz, Versão 6 Eixos	20 1856 0091	1	€ 22.692,00
Kit Multi-Voltagem (200/208/220/230/240/380/400/415/440/460/480 V +/- 10%)	20 1856 0004	1	€ 1.670,00
Mangueira de Gás	7010 1801	1	€ 47,00
Regulador de Pressão e de Vazão para Argônio	7550 1002	1	€ 194,00
Cabo de Extensão de 15m para Cabeçotes com AVC/OSC	7550 1263	1	€ 3.775,00
Cabeçote de Solda MU IV 42/115 (P) AVC/OSC	1713 9808	1	€ 16.125,00
Cabeçote de Solda MU IV 76/195 (P) AVC/OSC	1546 9804	1	€ 19.275,00
Alimentador Externo de Arame	20 2350 0001	1	€ 2.750,00
Treinamento com o Equipamento de Solda	TLT	1	€ 8.500,00
Total em Euros			€ 75.028,00
Total em Reais			R\$ 252.844,36

Quadro 4: Orçamento
Fonte: Autoria própria.

Conforme quadro 4, este traz o orçamento de aquisição do equipamento escolhido, necessário para troca do processo de solda TIG manual para o processo de solda TIG orbital proposto.

CÁLCULO DO RETORNO DE INVESTIMENTO	
INVESTIMENTO	R\$ 252.844,36
CUSTO HH + HM	R\$ 30,74
TUBULAÇÕES PRODUZIDA ANO(peças)	48
TEMPO REDUZIDO PROCESSO ORBITAL(horas)	3:00:00
TEMPO ANUAL REDUZIDO(horas)	144:00:00
GANHO NA PRODUTIVIDADE ANUAL	
48 X 3:00hs = 144:00hs/ano x R\$30,74	R\$ 4.426,56
GANHO NA ELIMINAÇÃO DO RETRABALHO	
48 X 2:54hs = 121,92hs/ano x R\$30,74	R\$ 3.747,82
INVESTIMENTO/GANHOS	30,93131956
RETORNO DE INVESTIMENTO	± 31 ANOS

Quadro 5: Retorno de investimento
Fonte: Autoria própria.

O quadro 5 que define o retorno de investimento podemos demonstrar que pelos cálculos levaremos em torno de 31 anos para termos retorno de investimento, o que torna o processo de solda TIG orbital inviável no momento presente devido ao alto custo do equipamento e a demanda de produção estar em baixa. O trabalho serviu para mostrar que não vale a pena mudar o processo agora.

Mas em um momento futuro, com o aumento da demanda de produção, poderemos retomar as pesquisas. Quando então poderemos revisar todo processo, detectando outras possibilidades de redução de custo com uma qualidade perfeita.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os conhecimentos gerados e técnicas propostas são de grande valia para pesquisas futuras, sendo um ponto de partida para avanços na otimização dos equipamentos bem como a busca por procedimentos mais produtivos e robustos.

A soldagem orbital é um ramo da indústria que sempre trará maiores demandas, exigências e desafios com o passar do tempo devido ao constante crescimento na exploração do petróleo e gás, refletido também, pelo aumento do consumo energético. Assim sendo, é de suma importância que os laços entre as entidades acadêmicas e as indústrias se estreitem, agregando, de maneira simbiótica, conhecimento, experiência e avanços tecnológicos que reflitam significativamente no desenvolvimento do país.

Após ter avaliado o processo atual, verificou-se que o mesmo atribui operações desnecessárias como a desmontagem das partes do conjunto para proceder com a solda manual e que a sequência da operação propicia ao soldador uma dificuldade ao fazer a solda até uma posição, ter que virá-la a cada 120° para dar sequência na solda. E isto se repete a cada camada de solda que o soldador tem que fazer até preencher o chanfro com a última camada de acabamento.

A avaliação que foi feito no processo proposto é que por termos como fazer a solda na posição inicial após a pré-montagem, a possibilidade de uma solda continua a 360°, fazendo todo processo até o acabamento no mesmo local.

E comparando os dois processos, verificou-se que no processo orbital obtém-se uma melhor qualidade na solda da tubulação e também no ganho da produtividade devido a não necessidade de parar o processo a cada vez que precisasse mudar a posição dos tubos, pois o equipamento proporciona uma solda continua.

Mesmo concluindo que através do processo de soldagem orbital teremos vantagens técnicas de qualidade e também o aumento da produtividade, infelizmente no momento atual o investimento não se justifica.

REFERÊNCIAS

HISTÓRIA DA WEG. WEG S.A. 2016. Disponível em: <http://www.weg.net/br/Sobre-a-WEG/Historia/Os-Fundadores>> Acesso em: 02 dez. 2016.

HISTÓRIA DO PROCESSO DE SOLDAGEM TIG. DBC oxigênio, 2014. Disponível em: <http://guias.oxigenio.com/historia-do-processo-de-soldagem-tig>> Acesso em: 10 nov. 2016.

LIMA II, E. et al. Development of a robot for orbital welding. **Industrial Robot: An International Journal**, vol. 32, n.4, pp.321-325.

LINHA DE PRODUTOS E SOLUÇÕES. WEG S.A. 2016. Disponível em: <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-energia-linhas-de-produtos-e-solucoes-50043334-catalogo-portugues-br.pdf>> Acesso em: 02 dez. 2016.

LI, X.; LU, Y.; ZHANG, Y.M. Accelerometer-based position and speed sensing for manual pipe welding process. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 2013, v. 69, p. 705-713.

MANNION, B. **The fundamentals of orbital welding.** Gases & Welding Distributor, 2000, v.44, p. 42-44.

MEREDITH, Russel. **Welding torch.** Los Angeles: Northrop Aircraft Inc, 1941. Disponível em: <https://www.google.com/patents/US2274631>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

DBC OXIGÊNIO, 2016. Disponível em: <http://www.oxigenio.com/>>. Acesso em: 9 dez. 2016

PIGOZZO, I.O. **Soldagem TIG orbital:** otimização de equipamentos e prospecções tecnológicas para procedimentos de passe de raiz. 118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

POLYSOUDE THE RT OF WELDING, 2016. Disponível em: <http://www.polysoude.com/>> Acesso em: 21 dez. 2016

PROCESSO DE SOLDAGEM TIG. DBC oxigênio, 2014. Disponível em: <http://guias.oxigenio.com/processo-de-soldagem-tig>> Acesso em: 17 dez. 2016

TIP TIG, 2016. Disponível em: < <http://www.tiptig-international.com/> Acesso em: 27 dez. 2016

WAINER, E.; BRANDI, S. D.; MELLO, F. D. H. de.; **Soldagem**: processo e metalurgia. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

YIN, R. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. Tradução de Daniel Grassi. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.