

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE  
ENGENHARIA NAVAL

ANA CAROLINA MARTINS FREITAS

**PROSPECÇÃO DA SOLDAGEM TIG COM ALIMENTAÇÃO TANGENCIAL DO  
ARAME QUENTE VISANDO APLICAÇÕES DE REVESTIMENTO**

Joinville

2022

ANA CAROLINA MARTINS FREITAS

**PROSPECÇÃO DA SOLDAGEM TIG COM ALIMENTAÇÃO TANGENCIAL DO  
ARAME QUENTE VISANDO APLICAÇÕES DE REVESTIMENTO**

Trabalho apresentado como requisito para obtenção do título de bacharel no Curso de Graduação em Engenharia Naval do Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Prof. Dr. Tiago Vieira da Cunha

Joinville

2022

ANA CAROLINA MARTINS FREITAS

**PROSPECÇÃO DA SOLDAGEM TIG COM ALIMENTAÇÃO TANGENCIAL DO  
ARAME QUENTE VISANDO APLICAÇÕES DE REVESTIMENTO**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Naval” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Naval

Local, 29 de julho de 2022.

---

Profª Drª Viviane Lilian Soethe  
Coordenadora do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Dr. Tiago Vieira da Cunha  
Orientador  
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Dr. Andrea Piga Carboni  
Avaliador  
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Dr. Anna Louise Voigt  
Avaliador  
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado ao meu sogro Vagner Nascimento dos Santos (em memória).

## AGRADECIMENTOS

Agradecer primeiramente à Deus pela vida e por me sustentar em todos os momentos difíceis nos quais passei. Ao meu amado Rodson, por estar do meu lado desde o início da minha caminhada me incentivando, me mostrando a cada dia que eu sou capaz de alcançar todos os meus sonhos e objetivos.

Agradecimento especial aos meus pais, Adão e Verônica, por não medirem esforços em me proporcionar a realização de minha formação. Agradeço também minha irmã Giselle e meu cunhado Douglas, por serem orgulharem de mim e me dar apoio quando precisei, ao meu pequeno Bento que mesmo sem entender, foi o combustível essencial para continuar. À minha madrinha e meu padrinho, que sempre acreditaram em mim desde antes a minha aprovação no vestibular. À minha sogra por todo incentivo, ao meu sogro (em memória) que tinha o sonho de me ver formada, serei eternamente grata a todos ensinamentos e nossas conversas sobre soldagem, e ao Matheus, por se espelhar em mim e me fazer não desistir por isso também.

Agradecimento à Universidade Federal de Santa Catarina pelo ensino público e de qualidade para todos, a todos os professores responsáveis pela minha formação. Ao Laboratório de Tecnologia da Soldagem pela oportunidade de realização deste trabalho e aos colegas que me ajudaram a concretização do mesmo.

Ao meu professor e orientador Tiago Viera da Cunha, por todos os ensinamentos, dedicação e seriedade, por me mostrar o caminho a seguir para evoluir academicamente.

A todos meus amigos que formei em minha trajetória, nos quais compartilhamos momentos de estudos e lazer, tornando assim um caminho mais leve e gratificante.

Aos meus familiares por compreenderem a minha ausência em momentos importantes, principalmente às primas Graziene, Mariana e Letícia por serem ouvidos quando mais precisei e vibrarem comigo em todas as minhas pequenas conquistas durante essa árdua caminhada. E por fim, aos meus familiares de Joinville que me acolheram durante esses anos, dando todo suporte necessário para seguir.

## RESUMO

Um dos grandes problemas da indústria naval é a corrosão e processos de soldagem vem sendo utilizados como uma alternativa para minimizar essa dificuldade. Uma delas é a soldagem de revestimento, na qual consiste em depositar material sobre o metal de base, sendo que o material de adição tenha propriedades anticorrosivas melhores. Nos processos por revestimento é esperado um cordão de solda mais largo, com menor penetração e principalmente baixa diluição. Vários processos podem ser utilizadas para a realização da soldagem por revestimento. Entre elas, o processo TIG apresenta fácil controle de penetração e diluição, sendo este o processo utilizado no presente trabalho. Em busca de maiores taxas de deposição, várias técnicas de alimentação foram desenvolvidas para aumentar a taxa de fusão do material de adição. Com isso, o presente trabalho tem como objetivo propor e avaliar a junção das técnicas de alimentação de arame tangencial e *hot wire*, sendo que o aquecimento será realizado por indução eletromagnética, afim evitar instabilidades no processo. Para tanto foram realizados ensaios de soldagem divididos em três grupos, sendo de TIG Convencional, Alimentação Tangencial do Arame (ATA-TIG) e Alimentação Tangencial do Arame no processo TIG com aquecimento indutivo (ATAQ-TIG), com variações nas correntes de soldagem de 100 A, 150 A e 200 A, com a proposta de avaliar as taxas de deposição de material além dos aspectos operacionais dos processos de soldagem. Com os resultados obtidos verificou-se o aumento nas taxas de deposição de material para as técnicas com alimentação tangencial com aquecimento por indução eletromagnética ou sem o aquecimento, frente à técnica TIG convencional.

**Palavras-Chave:** TIG. Revestimento. Alimentação tangencial. *Hot wire*. Indução eletromagnética.

## ABSTRACT

One of the major problems in the naval industry is corrosion and welding processes have been used as an alternative to minimize this difficulty. One of them is the cladding welding, which consists of depositing material on the base metal, with the addition material having greater anti-corrosive properties. In a cladding process, a weld bead is expected, with less penetration, low reinforcement and especially low dilution. Several processes can be used to perform the welding by cladding. Among them, the TIG process presents easy control of penetration and dilution, being this the process used in the present work. In search of higher deposition rates, several feeding techniques have been developed to increase the melting rate of the filler material. With this, the present work has as objective to propose and evaluate the combination of tangential wire feeding and hot wire techniques, being that the heating will be accomplished by electromagnetic induction, in order to avoid instabilities in the process. For this, welding tests were performed divided into three groups, being Conventional TIG, Tangential Wire Feed (ATA-TIG) and Tangential Wire Feed in the TIG process with inductive heating (ATAQ-TIG), with variations in welding currents of 100 A, 150 A and 200 A, with the proposal of evaluating the deposition rates of material besides the operational aspects of the welding processes. With the results obtained it was verified the increase in the deposition rates of material for the techniques with tangential feeding with electromagnetic induction heating or without heating, compared to the conventional TIG technique.

**Keywords:** TIG. Coating. Tangential feeding. *Hot wire*. Electromagnetic induction.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Desenho esquemático para visualização do cálculo de diluição .....	18
Figura 2 - Esquema típico do processo TIG <i>hot wire</i> .....	20
Figura 3 – Comparação na taxa de deposição de diferentes processos de soldagem .....	22
Figura 4 – Ilustração da posição relativa do arame em relação ao eletrodo para o processo TIG Convencional e Arame Tangencial.....	23
Figura 5 – Comparação da taxa de deposição quanto aos processos MIG/MAG, TIG com alimentação radial e alimentação tangencial .....	24
Figura 6 - Bancada de Ensaios utilizada.....	25
Figura 7 – Dispositivo para Ensaio com TIG Convencional.....	26
Figura 8 - Protótipo dispositivo para técnica ATA-TIG e ATAQ-TIG.....	27
Figura 9 - Fonte de indução e Unidade de Refrigeração .....	27
Figura 10 - Grupo de Ensaios .....	29
Figura 11 - Relação taxa de deposição e potência de arco nas diferentes técnicas .....	31
Figura 12 - Desenho esquemático processo soldagem TIG com alimentação tangencial.....	32
Figura 13 – Aumento nas taxas de deposição em relação ao ATA-TIG .....	34
Figura 14 - Oscilogramas para correntes de soldagem de 100 A .....	36
Figura 15 - Oscilogramas para correntes de soldagem de 150 A .....	37
Figura 16 - Oscilogramas para correntes de soldagem de 200 A .....	38
Figura 17 - Energia de Soldagem referentes aos três grupos de ensaios .....	39
Figura 18 - Valores médios de Energia de Soldagem e tensões para as técnicas com alimentação tangencial.....	40

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Parâmetros Fixos de Soldagem .....	28
Tabela 2 – Resultados obtidos para os três grupos de ensaios .....	33

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

TIG – Tungsten Inert Gas

ATA-TIG – Alimentação Tangencial do Arame no processo TIG

ATAQ-TIG – Alimentação Tangencial do Arame no processo TIG com aquecimento indutivo

DEP – Distância eletrodo-peça

$V_s$  – Velocidade de Soldagem

$V_a$  – Velocidade de alimentação do arame

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

LTS – Laboratório de Tecnologia da Soldagem

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
1.1	OBJETIVOS .....	16
1.1.1	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>16</b>
1.1.2	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>17</b>
2.1	REVESTIMENTO POR SOLDAGEM.....	17
2.2	PROCESSO TIG EM APLICAÇÕES PARA REVESTIMENTO .....	19
2.2.1	<b>Técnicas aplicadas no processo TIG com potencial na aplicação de revestimento .....</b>	<b>20</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>25</b>
3.1	MONTAGEM DA BANCADA .....	25
3.2	REALIZAÇÃO ENSAIOS DE SOLDAGEM .....	28
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>31</b>
4.1	TAXAS DE DEPOSIÇÃO PARA AS DIFERENTES TÉCNICAS .....	31
4.2	ANÁLISES OPERACIONAIS DOS PROCESSOS .....	35
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>41</b>
<b>6</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>43</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>44</b>
	<b>APÊNDICE A – IMAGENS CORDÕES DE SOLDA .....</b>	<b>46</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O uso de aço carbono na indústria naval é bastante abundante, mas apesar de ser muito utilizado ele apresenta problemas de corrosão, necessitando assim de interferência para a proteção do material. Os processos de soldagem são conhecidos principalmente para união de entre peças, porém, nos últimos anos vem sendo utilizado para deposição de material em uma determinada superfície para a formação de um revestimento, esse processo então é conhecido como processo de revestimento por soldagem.

O processo de revestimento por soldagem é uma excelente alternativa e se faz cada vez mais presente para a prevenção de corrosão, pois consegue agregar características específicas nos quais não são pertencentes ao metal de base, tendo assim um menor custo. Vários os processos de soldagem que podem ser empregados para esse fim, um desses processos é a soldagem a arco com eletrodo de tungstênio – TIG. Uma característica importante desse processo é o excelente controle da energia transferida para a peça, devido ao controle independente da fonte de calor e da adição de metal. O processo no qual o seu arco elétrico é bastante estável, em geral produz cordões de soldas com boa aparência e acabamento.

Com a necessidade de aumento da taxa de deposição no processo de soldagem\_TIG, ao longo do tempo diversos métodos têm sido desenvolvidos para melhorar o desempenho do processo. Um desses métodos é a técnica conhecida como o *hot wire* onde o arame aquecido é inserido à poça de fusão, ou seja, a ponta do arame está sempre em contato com a poça de fusão, aumentando assim a taxa de deposição permite também maiores velocidades de soldagem. Nessa técnica, uma das maneiras mais utilizadas para o aquecimento do arame é por efeito Joule, que embora aumente a taxa de fusão traz uma série de inconvenientes, principalmente aqueles relacionados ao sopro magnético, que causa deflexão no arco. Outro método um pouco mais recente, desenvolvido visando aumento na taxa de deposição, é a alimentação tangencial do arame. Este método que se diferencia do método convencional basicamente pelo ângulo no qual o arame é inserido na poça de fusão, fazendo com que na alimentação tangencial o arame adentra em isotermas com maiores temperaturas apresentando então uma taxa de fusão maior.

Com o intuito de obter taxas de deposição ainda maiores, sem, entretanto, ter todos os inconvenientes do arame da técnica realizada com o efeito Joule, propõe-se a junção das técnicas de alimentação tangencial com o *hot wire*, com o aquecimento por indução eletromagnética.

Para avaliar a viabilidade técnica desta proposta, serão realizados ensaios de soldagem divididas em três grupos, com as variações de parâmetros nas diferentes técnicas apresentadas, afim de analisar suas características, o ganho em taxas de deposição e validar o uso do novo método proposto.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Propor e avaliar a união de duas técnicas já conhecidas no processo TIG, resultando, assim, numa nova técnica de soldagem. Utilizando alimentação tangencial do arame, com ou sem o aquecimento por indução eletromagnética, a fim de propiciar maiores taxas de deposição aplicada em revestimento.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Implementar a infraestrutura capaz de aplicar a técnica da Alimentação Tangencial do Arame no processo TIG com aquecimento indutivo (ATAQ-TIG);
- Avaliar a técnica de alimentação tangencial do arame com aquecimento indutivo em relação à taxa de deposição;
- Avaliar a técnica ATAQ-TIG em relação aos aspectos operacionais do processo.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 REVESTIMENTO POR SOLDAGEM

Segundo Marques (2014), a soldagem é considerada como um processo de união, porém, na atualidade muitas variações desse processo que são usados para deposição de material, visando a recuperação de peças desgastadas ou para a formação de revestimento com características específicas. A soldagem de revestimento, segundo Linnert (1994), pode ser definida como a deposição de um material de adição dissimilar sobre uma superfície metálica para se obter propriedades distintas do material de base, isso pode envolver maior resistência à corrosão.

Para Silva (2010) o revestimento é a deposição de múltiplos cordões de solda dispostos lado a lado de forma a produzir uma ou mais camadas de metal com características específicas sobre um substrato para proporcionar propriedades desejadas à superfície que não são inerentes ao metal de base, constituindo assim uma grande aplicação dos processos de soldagem a arco voltaico.

Esse tipo de soldagem pode ser utilizado para diferentes aplicações, por exemplo em grandes peças na área naval, que operam em regiões severas de corrosão o revestimento é uma excelente alternativa, para proteção e conseqüentemente a diminuição do custo, pois a fabricação de peças inteiras de um aço inoxidável se torna inviável por ter um custo muito elevado, assim pode-se agregar as propriedades do aço inoxidável ao metal de base, em especial na indústria naval devido ao emprego em larga escala de aços baixo carbono, a exemplo de AISI 1020 e ASTM A36.

A soldagem por revestimento pode ser dividida de acordo com o objetivo específico do revestimento depositado, podendo ser similar ao metal de base depositado em uma superfície afim de cumprir com requisitos dimensionais, ou o amanteigamento que é semelhante ao material depositado ou ainda o endurecimento superficial para o aumento de resistência ao desgaste (LINNERT, 1994).

De acordo com Gomes (2010) a soldagem por revestimento de aços carbono ou aços de baixa liga com aços inoxidáveis está sendo cada vez mais utilizada, devido principalmente ao barateamento do processo e as propriedades anticorrosivas adquiridas. Ao realizar a união de materiais com composições químicas diferentes, a mistura de elementos presentes no revestimento e no metal de base pode comprometer as propriedades finais de anticorrosão, o

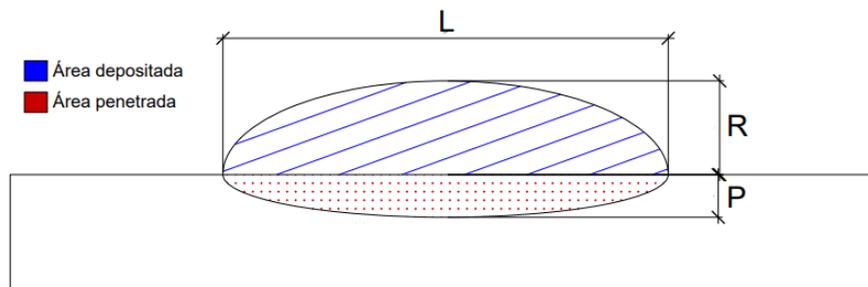
que inviabiliza esta operação (GOMES, 2010). Por isso, o que difere o processo de união com do revestimento é o controle da diluição, que é definida pela quantidade de metal de base que é fundida e mistura com o metal de adição.

No processo de revestimento quanto maior for a taxa de disposição do material melhor. De acordo com Silva (2010) procura-se uma deposição de cordões com geometria favoráveis que atendam aos requisitos do processo de revestimento, ou seja, que tenha baixa penetração, alto reforço e largura, resultando assim um cordão com baixa diluição, sendo assim o controle da diluição é primordial para garantir os requisitos, especialmente a resistência à corrosão.

Gomes (2010) enfatiza, ao analisar o processo de revestimento do aço 1020 com aço inoxidável utilizando a soldagem por arame tubular, as características dos cordões de solda obtidos, quando as mesmas são definidas a partir de um perfil geométrico desejado que é caracterizado por grandes larguras, altos reforços, baixas penetração e conseqüentemente baixo percentual de diluição.

A diluição expressa, em porcentagem quanto do metal de base participa da zona fundida, na qual é determinada através da análise da seção transversal do cordão de solda (Figura 1) e o valor da diluição é encontrado a partir da Equação 1.

Figura 1 – Desenho esquemático para visualização do cálculo de diluição



Fonte: Autora (2022)

Onde:

L = Largura (mm)

P = Penetração (mm)

R = Reforço (mm)

$$D (\%) = \frac{A_p}{A_p + A_d} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

D = Diluição (%)

$A_p$  = Área penetrada (mm<sup>2</sup>)

$A_d$  = Área depositada (mm<sup>2</sup>)

## 2.2 PROCESSO TIG EM APLICAÇÕES PARA REVESTIMENTO

Diversos processos podem ser empregados para a realização da soldagem com o objetivo de revestir uma superfície. Processos que utilizam eletrodo não consumível e adicionam o metal de solda diretamente na poça de fusão, permitem o controle independente entre a energia de soldagem e a taxa de deposição, o que permite soldar com menor penetração, mínima diluição e reduzida zona termicamente afetada. Aplicações de revestimento metálico podem ser favorecidos por menores energias de soldagem (MENEZES,2016). Um dos processos que se caracteriza por fácil controle de menor penetração e menor diluição, é o processo TIG (KUMAR, et al, 2010.)

O processo de revestimento é muito utilizado para obtenção de revestimentos em superfícies que necessitam de maior resistência à corrosão. No trabalho realizado por Silva Filho (2007 apud ABICHABKI, 2016), no qual utiliza a deposição de material por soldagem TIG pelo motivo de ser um processo a arco mais estável, ele evidencia a necessidade de uma diluição mínima para que haja uma efetiva união entre o metal de base e o revestimento.

No trabalho de Menezes (2016), utilizando a técnica convencional da soldagem TIG, verificou-se um aumento linear da velocidade de alimentação do arame de acordo com o aumento da corrente de soldagem. Em relação aos requisitos de interesse na soldagem por revestimento, se obteve uma largura de cordão de solda com média de 6,4mm, penetração com média de 0,7mm no qual está ligado diretamente com a diluição que ficou com percentual médio de 29%.

Com o intuito de avaliar as variações geométricas do processo de revestimento com o processo TIG com arame frio, Braga (2017) realizou análise nos parâmetros de soldagem em relação aos principais requisitos no revestimento. Quanto a largura do cordão, o mesmo verificou que o parâmetro que mais influência é o aumento da corrente de soldagem, seguido da redução da velocidade de alimentação do arame. Por outro lado, o que mais influenciou na

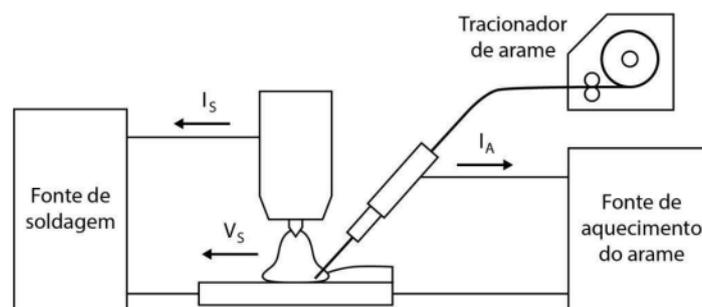
penetração favorável para revestimento, foi a redução da corrente de soldagem e o aumento na velocidade de alimentação. Quanto a diluição, verificou que o aumento da velocidade de alimentação e a diminuição da corrente de soldagem, são as com maior influência na diluição. Verificou também que a velocidade de alimentação do arame é o parâmetro que mais influenciou na taxa de deposição do material.

### 2.2.1 Técnicas aplicadas no processo TIG com potencial na aplicação de revestimento

Algumas técnicas podem ser aplicadas no processo de soldagem TIG em aplicações que visam uma maior taxa de deposição para aplicação de revestimento. Por volta de 1960 foi desenvolvida a técnica chamada “*Hot wire*”, com o objetivo de aumentar a taxa de deposição (HENON, 2015 apud BRAGA, 2017).

O aquecimento do arame pode ser realizado de diversos métodos, sendo o mais simples o aquecimento realizado por uma fonte de corrente independente, onde a passagem da corrente constante pelo material de adição fecha o circuito elétrico em contato com a poça fundida, atuando como uma resistência, promovendo o aquecimento por efeito Joule. Essa configuração está representada da Figura 2.

Figura 2 - Esquema típico do processo TIG *hot wire*



Fonte: Voigt (2019)

Entre a corrente do arame e a corrente do arco, a força eletromagnética gerada faz com que o arco sofra uma deflexão, que é conhecido como o sopro magnético, sendo o maior desafio desse método (KATSUYOSHI *et al.*, 2003). O sopro magnético é considerado um defeito sobre o arco voltaico, no qual é formado por distúrbios magnéticos perto do arco voltaico, que provocam deflexões no arco tendo assim menor controle sobre ele (OLIVARES; DÍAZ, 2016).

No processo TIG *hot wire*, a polaridade do arame influencia diretamente na direção de desvio do arco voltaico. De acordo com Olivares e Díaz (2016), quando o arco deflete em direção ao arame, é conseguida uma maior transferência de energia para o arame, ao mesmo tempo em que diminui a pressão do arco no centro da poça de fusão. Desta forma, segundo os autores, obtêm-se um aumento na taxa de deposição e uma diminuição da diluição, o que é favorável para aplicações de revestimento.

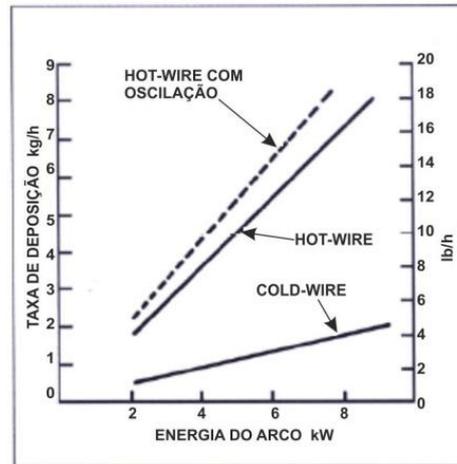
Visto o que a polaridade do arame tem implicações diferentes sobre o processo, uma alternativa na qual vem sendo empregada para o aquecimento do arame, é o uso de corrente alternada, minimizando as interferências no arco voltaico devido o sopro magnético (LUCAS, 1990).

Visto que o problema de sopro magnético apesar de ser minimizado usando técnicas diferentes para aquecimento do arame não consegue acabar totalmente com o problema, Voigt (2019) realizou ensaios com o processo *hot wire* com aquecimento com indução eletromagnética, conseguindo então excluir a presença do sopro magnético.

Em uma aplicação normal do processo de soldagem TIG “*Cold wire*”, o material de adição frio é fornecido na borda da poça de fusão, fazendo com que o arco voltaico perca eficiência devido a entrega de energia para poder fundir o material de aporte, além de fornecer energia para manter a poça de fusão no material de base. Já o processo “*Hot wire*” ou arame quente, consiste em pré-aquecer o arame na temperatura próxima de fusão momentos antes de contato com a poça de fusão. (Linnert,1994).

Para aplicações de revestimentos, procura-se sempre uma menor diluição possível, nos ensaios realizados por Olivares e Díaz (2016), obtiveram diluições entre 12,5% e 1,4%, dependendo da velocidade de arame, porém para velocidade de arame de 7,5 m/min os cordões possuem um o ângulo de molhamento excessivo. Quanto a taxa de deposição os autores afirmam que quanto maior a velocidade do arame maior a taxa de deposição, chegando a 4 kg/h para a velocidade de 7,5 m/min. Na Figura 3 os autores mostram a taxa de deposição com os diferentes processos utilizados, mostrando superioridade para o processo *hot wire* comparado ao processo *cold wire*.

Figura 3 – Comparação na taxa de deposição de diferentes processos de soldagem



Fonte: Olivarez e Díaz (2016)

Segundo Linnert (1994), essa técnica permite que a velocidade de soldagem seja aumentada em até 50% em comparação com a mesma operação utilizando a alimentação de arame frio.

Em ensaios realizados por Olivares e Díaz (2016) comparando o processo TIG *cold wire* e *hot wire*, observou-se que a energia fornecida pelo arco voltaico não é suficiente para conseguir fundir todo o material de adição no processo *cold wire*, implicando na necessidade de diminuir a velocidade do arame, consequentemente se mostrando menos produtivo do que o processo *hot wire*.

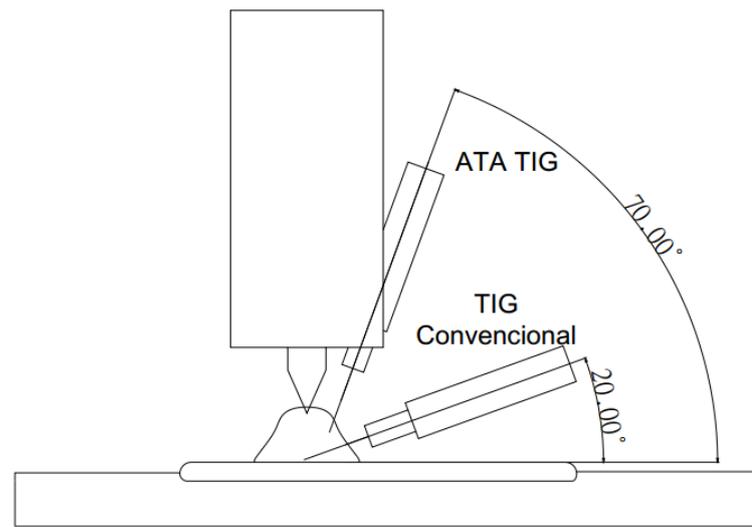
As variações nas geometrias do cordão de solda podem ser relacionadas com os parâmetros utilizados no processo de soldagem. O aumento da largura do cordão é maior com o aumento da corrente de soldagem e com o aumento da corrente do arame; resultando ainda com a combinação mútua uma maior taxa de deposição (DINESH; ANANDAVEL; DAVAKUMARAN, 2018). Assim como para Mr<sup>a</sup>, Neelakandan e Kandasamy (2016) que atribuem esse aumento na largura do cordão de solda principalmente pela variação de transferência de calor para a poça de fusão através do arco e o aquecimento do metal de adição.

Para técnica de aquecimento do arame, Chen *et al.* (2018) analisaram o efeito da temperatura do arame inserido no processo, no qual é responsável pelo aumento da largura do cordão de solda e diminuição do reforço, isso significa que o arame quente beneficia a propagação do metal de revestimento na superfície do metal de base.

Uma outra técnica na qual pode ser aplicada com o objetivo de se obter maiores taxas de deposição, é a alimentação tangencial do arame (ATA-TIG), que difere do processo TIG

convencional pelo ângulo em relação ao metal de base, com o qual o arame é inserido no arco voltaico. No processo TIG convencional o arame é alimentado com um ângulo aproximado de  $20^\circ$ , já no processo de alimentação tangencial o ângulo  $\theta$  é aproximadamente  $70^\circ$ , como mostra a Figura 4 (MENEZES, 2016).

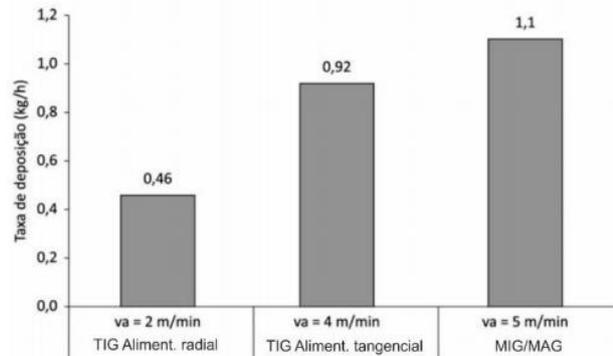
Figura 4 – Ilustração da posição relativa do arame em relação ao eletrodo para o processo TIG Convencional e Arame Tangencial



Fonte: Autora (2020)

Quando o arame é alimentado de forma radial em relação ao arco elétrico, ele adentra em regiões menos quentes, há uma tendência de apresentar menos eficiência na fusão do arame de alimentação, quando o arame é inserido em isotermais mais quentes, ou seja, na posição tangencial, se obtém maiores taxas de deposição, nas quais podem ser comparadas com as taxas alcançadas com o processo MIG/MAG, porém com a qualidade da soldagem TIG, essa comparação está demonstrada na Figura 5. Além disso, o processo tangencial permite maior acessibilidade de juntas geométricas complexas e aumenta a possibilidade de movimento (FORTAIN, 2008 apud MENEZES,2016).

Figura 5 – Comparação da taxa de deposição quanto aos processos MIG/MAG, TIG com alimentação radial e alimentação tangencial



Fonte: Fortain (2008)

A inserção do arame pode ser realizada multidirecional em relação ao arco – frontal, lateral e traseira, a posição em que o arame é inserido é fundamental para o resultado do cordão soldado. Quando o arame é inserido radialmente, as posições lateral e frontal apresentam melhor acabamento geométrico no cordão de solda, enquanto a região traseira da poça de fusão encontra-se em processo de solidificação, o que representa uma região de menor calor, incorrendo assim em menor capacidade de fusão de arame. Recomenda-se a inserção de arame por trás do arco elétrico melhora o aspecto de molhabilidade e reforço. (GODINHO *et al.*, 2016).

As duas maneiras de inserir o metal de adição, permitem dois modos de transferência do metal de adição, a transferência por gota e a ponte ininterrupta (ou fluxo de metal fundido). O primeiro modo de transferência é caracterizado por uma sequência de formação de gotas de metal fundido. Já o segundo modo de transferência é obtido através de um equilíbrio entre velocidade de alimentação do arame e a energia de fusão do arco, assim um contínuo contato é estabelecido entre a peça de trabalho e o metal fundido (FORTAIN, 2008).

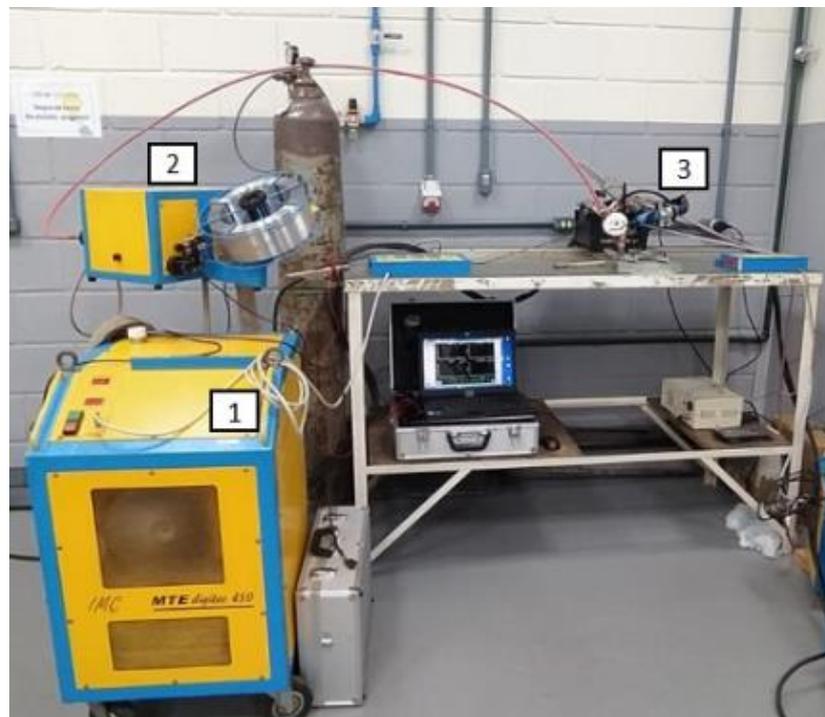
A literatura mostra que embora tenham estudos das técnicas de alimentação tangencial e *hot wire*, por muitas vezes evidenciando todas as suas respectivas vantagens para aplicações em revestimentos, não foi encontrado nenhum estudo a fundo da junção das duas técnicas descritas.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 MONTAGEM DA BANCADA

Para a realização dos ensaios de soldagem primeiramente foi montada uma bancada no LTS - Laboratório de Tecnologia da Soldagem, afim de permitir a execução dos ensaios, como mostra a Figura 6.

Figura 6 - Bancada de Ensaios utilizada



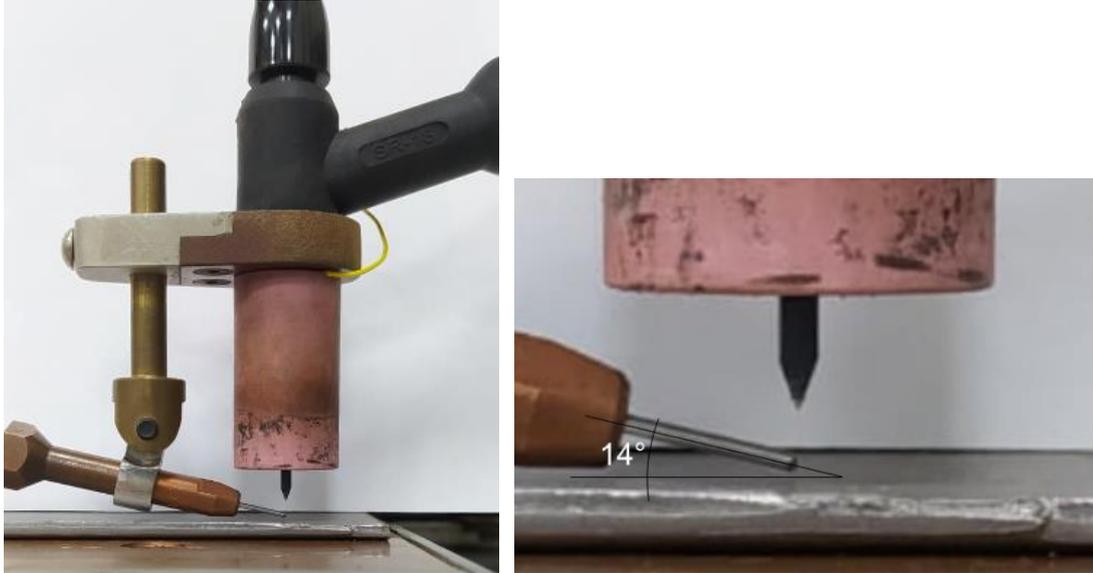
Fonte: Autora (2022)

A fonte de soldagem utilizada foi DIGTEC 450 (1), composta por um sistema tracionador de arame (2) e sistema de resfriamento da tocha. Para o deslocamento da tocha foi utilizado um Tartilope V1 (3), no qual é um sistema automático no qual permite maior precisão na velocidade de soldagem, além de permitir ajustes no posicionamento lateral, vertical e angular da tocha de soldagem.

Em todos os ensaios realizados a alimentação do arame foi realizada à frente do arco voltaico. Para os ensaios com a técnica TIG Convencional a com alimentação de arame, foi empregado um dispositivo no qual permitisse um ângulo de entrada do arame próximo de 15°

em relação à peça de tal forma que adentrasse na superfície poça de fusão próximo ao eixo axial do eletrodo, conforme mostra a Figura 7.

Figura 7 – Dispositivo para Ensaio com TIG Convencional



Fonte: Autora (2022)

Para realização dos ensaios com alimentação tangencial do arame, foi necessário a elaboração de um protótipo de dispositivo de fixação, conforme mostra a Figura 8, no qual permitisse o posicionamento de 20° aproximadamente em relação ao eixo axial do eletrodo e acomodação da bobina para aquecimento indutivo, na qual permaneceu desativada durante o processo de ATA-TIG. A bobina por sua vez, possui comprimento de 100 mm, composta por 20 espiras e refrigerada a água durante o processo.

Figura 8 - Protótipo dispositivo para técnica ATA-TIG e ATAQ-TIG



Fonte: Autora (2022)

Além disso, ao iniciar os ensaios com aquecimento foram adicionados na bancada um protótipo de fonte de indução, responsável pelo aquecimento do arame e uma unidade de refrigeração UPR 7500, essa atribuída para a refrigeração da bobina de aquecimento indutivo, conforme demonstrado na Figura 9.

Figura 9 - Fonte de indução e Unidade de Refrigeração



Fonte: Autora (2022)

Em todos os ensaios utilizou-se um sistema de aquisição de dados SAP V4.38s, no qual permite fazer a leitura instantânea dos níveis de corrente de soldagem, tensão de arco e velocidade de alimentação de arame durante o processo.

Os corpos de prova com dimensões de 180x90x3 mm de aço carbono SAE 1020 foram previamente limpos com álcool afim de retirar as impurezas da superfície e a cada ensaio fixados no dispositivo de fixação das amostras. A definição da espessura de 3 mm do corpo de prova deu-se pela premissa de ter melhor molhabilidade, pois em ensaios preliminares com chapas com maior espessura (6 mm), houve a contaminação do eletrodo de tungstênio visto que o reforço resultante foi muito elevado.

Para a realização da aquisição das taxas de deposição do material (em kg/h), fez-se necessário a medida de densidade linear do arame de adição utilizado no processo, para tanto foram cortadas 3 amostras de 1 metro de comprimento de arame, para cada amostra foi realizada a média da massa através de três medidas, utilizando uma balança de modelo Marte AD2000 com resolução de 0,01 g, para então realizar a média da densidade linear do arame a ser utilizada nos ensaios de soldagem.

### 3.2 REALIZAÇÃO ENSAIOS DE SOLDAGEM

A condição operacional imposta em todos os ensaios de soldagem foi definida a partir do modo de transferência metálica, sendo essa associada a velocidade de alimentação do arame, na qual foi ajustada gradativamente com degraus de 0,1 m/min até atingir visualmente a condição de limite da ponte metálica. Além disso, em todos os ensaios de soldagem alguns parâmetros se mantiveram constantes, nos quais estão demonstrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros Fixos de Soldagem

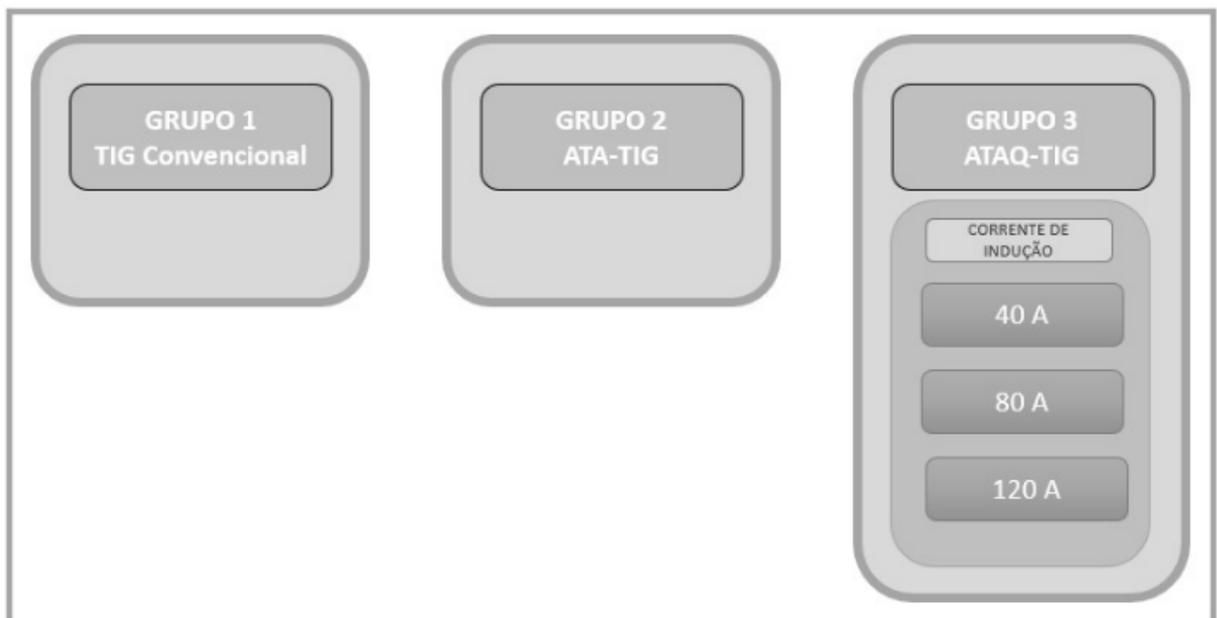
<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
Gás de proteção	Argônio puro	
Vazão do gás de proteção	12	l/min
Eletrodo	EWTh-2	
Diâmetro do eletrodo	2,4	mm
Ângulo de afiação do eletrodo	30°	
Arame de alimentação	ER430LNb	
Diâmetro do arame	1,2	mm

Distância eletrodo-peça (DEP)	4	mm
Comprimento livre do eletrodo	44	mm

Fonte: Autora (2022)

Para a realização dos ensaios, inicialmente foi montado uma matriz de experimentos dividida em três grupos conforme mostra a Figura 10. O primeiro utilizando a técnica TIG convencional com alimentação de arame frio; o segundo com ATA TIG (Alimentação Tangencial do arame no processo TIG) e, o terceiro sendo o ATAQ-TIG (Alimentação Tangencial do arame quente no processo TIG) com aquecimento indutivo.

Figura 10 - Grupo de Ensaios



Fonte: Autora (2022)

Em todos os grupos de ensaios foram empregadas correntes de soldagem de 100 A, 150 A e 200 A. Para a determinação das velocidades de soldagem ( $V_s$ ), primeiramente foi realizado um cordão de referência para corrente de 200 A, obtendo-se um ponto de operação estável no processo de soldagem com transferência metálica no limite de ponte contínua para a velocidade de 15 cm/min. Partindo da premissa de alcançar energias de soldagem semelhantes, calculou-se uma constante  $k$ , sendo a razão entre corrente de soldagem e velocidade de soldagem, conforme a Equação 2.

$$k = \frac{I}{V_S} \quad (2)$$

A partir do ensaio preliminar, foi possível determinar o valor de 13,3 para a constante  $k$  e subsequentemente encontrar os valores de velocidade de soldagem para os ensaios realizados com 100 A e 150 A, sendo de 7,4 cm/min e 11,2 cm/min respectivamente, valores estes utilizados em todos os grupos de ensaios de soldagem.

No terceiro grupo de soldagem, com o objetivo de analisar o aumento de velocidade de alimentação do arame e conseqüentemente um aumento na taxa de deposição de material, para cada valor de corrente de soldagem foram realizados ensaios com correntes de aquecimento indutivo do arame de 40 A, 80 A e 120 A com uma frequência de 40 Hz, totalizando assim 3 cordões de solda para cada valor de corrente de soldagem.

Para a análise de potência do arco em relação às taxas de deposição de material, foi necessário obter a potência do arco, para tanto foram realizadas as aquisições de corrente de soldagem e tensão de arco instantâneas durante o processo, e utilizando a Equação 3 para determinar os valores de potência do arco durante os processos de soldagem.

$$P_{arco} = \frac{\sum_i^n U_i I_i}{n} \quad (3)$$

Onde:

$P_{arco}$  : Potência de arco (W)

$U_i$  : Tensão instantânea (V)

$I_i$  : Corrente instantânea (A)

$n$  : Número de aquisições

A partir das potências de arco obtidas, obteve-se os valores de energia de soldagem ( $E_S$ ) para cada um dos processos realizados, utilizando a Equação 4, no qual relaciona os valores de potência do arco com a velocidade de soldagem.

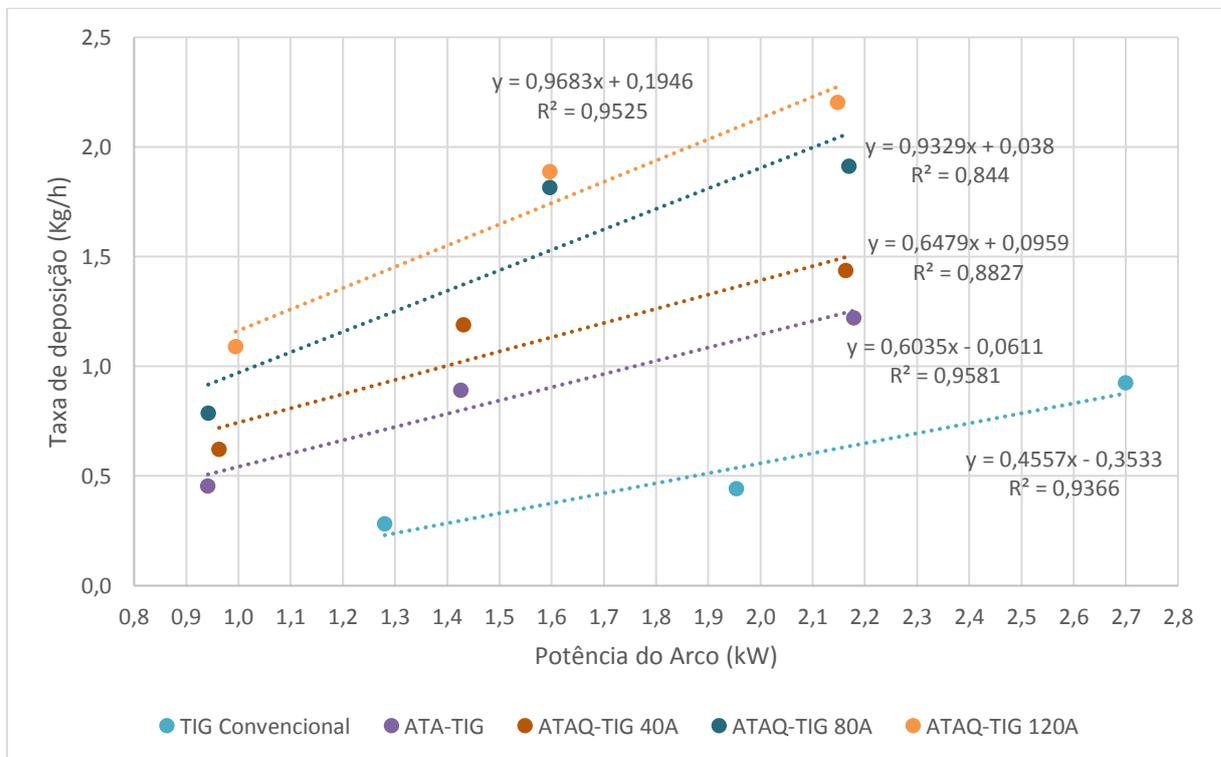
$$E_S = \frac{P_{arco}}{V_S} \quad (4)$$

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 TAXAS DE DEPOSIÇÃO PARA AS DIFERENTES TÉCNICAS

A Figura 11 mostra a relação da taxa de deposição de material (kg/h) com a potência do arco (kW), no qual evidencia o ganho nas taxas de deposição para as técnicas com alimentação tangencial sem aquecimento e com aquecimento indutivo, frente ao TIG Convencional. Pode-se observar um deslocamento para a direita na técnica TIG convencional comparado as técnicas de alimentação tangencial.

Figura 11 - Relação taxa de deposição e potência de arco nas diferentes técnicas

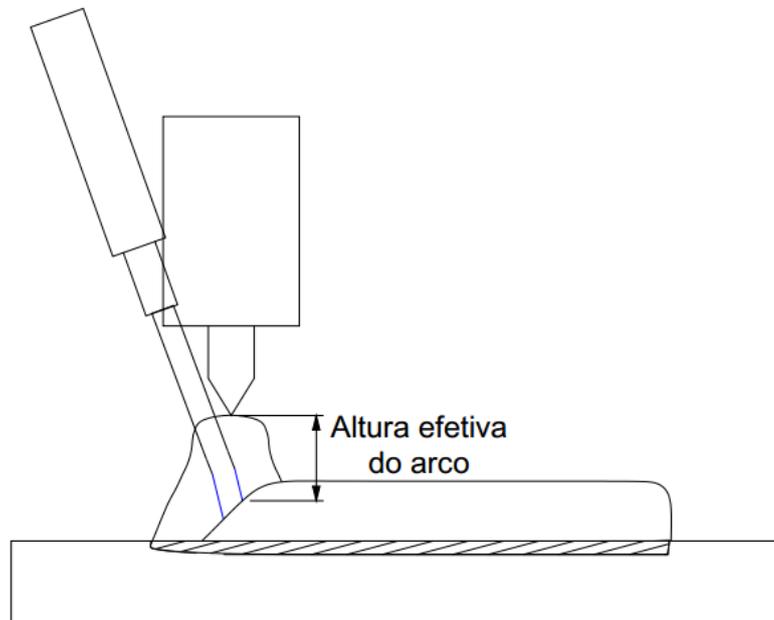


Fonte: Autora (2022)

Esse comportamento pode estar associado ao fato de que em maiores taxas de deposição de material, menor é a altura de arco, pois a poça de fusão tem mais material, e consequentemente menores valores de tensão. Porém, em todos os processos com alimentação tangencial, os valores de potência do arco permaneceram semelhantes, embora as taxas de deposições aumentassem com as variações do processo, o que leva a uma segunda hipótese.

A mudança ocorrida da técnica TIG convencional para o tangencial é o ângulo de entrada do arame de alimentação, fazendo assim com que possa ocorrer mudança na altura efetiva do arco, como mostrado no desenho esquemático da Figura 12. Essa mudança pode estar associada pelo fato de que a condição de operação ser ponte metálica, o arame adquire o mesmo potencial elétrico da peça de trabalho, fazendo com que a altura efetiva do arco seja menor quando comparado ao processo de TIG convencional.

Figura 12 - Desenho esquemático processo soldagem TIG com alimentação tangencial



Fonte: Autora (2022)

De maneira geral, para a técnica ATA-TIG com uma quantidade menor de potência de arco alcançou-se uma maior taxa de deposição comparado ao processo TIG convencional. Para uma taxa de deposição de 0,9 kg/h aproximadamente, na técnica TIG convencional, necessitou-se de 88% mais potência de arco em comparação à ATA-TIG.

A Tabela 2 mostra os resultados obtidos para todos os grupos de ensaios executados, para a técnica TIG Convencional o aumento na velocidade de alimentação do arame foi de 55% entre a corrente de soldagem de 100 A para 150 A e de 100% da corrente de soldagem de 150 A para 200 A, mostrando assim o impacto do aumento na corrente de soldagem. Mesmo com esse acréscimo nas velocidades de alimentação do arame, as taxas de deposições alcançadas foram menores quando comparadas às outras técnicas realizadas.

Tabela 2 – Resultados obtidos para os três grupos de ensaios

<b>Técnica</b>	<b>Corrente de Soldagem (A)</b>	<b>Vs (cm/min)</b>	<b>Tensão Média (V)</b>	<b>Corrente média de soldagem (A)</b>	<b>Va medida (m/min)</b>	<b>Taxa (Kg/h)</b>	<b>Energia de Soldagem (KJ/mm)</b>
<b>TIG CONVENCIONAL</b>	100	7,4	12,1	106	0,5	0,28	1,04
<b>TIG CONVENCIONAL</b>	150	11,2	12,5	157	0,9	0,44	1,03
<b>TIG CONVENCIONAL</b>	200	15,0	12,7	208	1,8	0,92	1,05
<b>ATA-TIG</b>	100	7,4	9,3	101	0,9	0,45	0,76
<b>ATA-TIG</b>	150	11,2	9,5	149	1,7	0,89	0,76
<b>ATA-TIG</b>	200	15,0	11,0	198	2,4	1,22	0,87
<b>ATAQ-TIG 40 A</b>	100	7,4	9,5	101	1,2	0,62	0,78
<b>ATAQ-TIG 40 A</b>	150	11,2	9,5	150	2,3	1,19	0,77
<b>ATAQ-TIG 40 A</b>	200	15,0	10,9	198	2,8	1,43	0,87
<b>ATAQ-TIG 80 A</b>	100	7,4	9,3	102	1,5	0,78	0,76
<b>ATAQ-TIG 80 A</b>	150	11,2	10,7	149	3,5	1,81	0,86
<b>ATAQ-TIG 80 A</b>	200	15,0	10,9	198	3,7	1,91	0,87
<b>ATAQ-TIG 120 A</b>	100	7,4	9,8	101	2,1	1,09	0,81
<b>ATAQ-TIG 120 A</b>	150	11,2	10,7	149	3,7	1,88	0,86
<b>ATAQ-TIG 120 A</b>	200	15,0	10,8	198	4,3	2,20	0,86

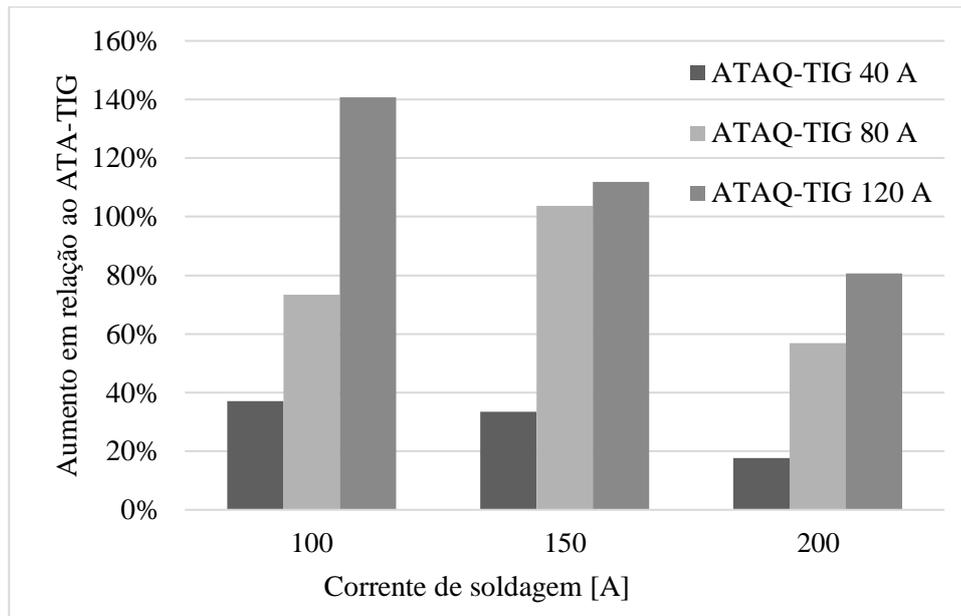
Fonte: Autora (2022)

Quando se refere aos resultados obtidos para o segundo grupo de ensaios, comparando-o ao processo TIG convencional para a corrente de soldagem de 200 A, obteve-se um ganho de 30% na taxa de deposição; para a corrente de 200 A esse aumento foi de 60% e para a corrente de 150 A a taxa de deposição foi de 0,9 kg/h o que representa aumento de 100% em relação ao TIG convencional. Esses acréscimos nas taxas de deposição são justificados pelo fato de que o arame adentra em regiões mais quentes, próximo ao eletrodo de tungstênio, sendo então fundido com mais facilidade.

Para os ensaios realizados no terceiro grupo, quando o arame adentrou no arco já aquecido com a corrente de indução, os valores obtidos para as velocidades de alimentação do arame, conseqüentemente alcançaram patamares maiores de taxa de deposição do que os obtidos nas técnicas anteriores com a mesma condição de correntes de soldagem.

Para uma análise acerca dos ganhos nas taxas de deposição de material, foi fixado os valores de corrente de soldagem, para tanto, as referências foram os ensaios com o ATA-TIG, ou seja, sem o aquecimento do arame. Na pode-se observar os aumentos percentuais nas taxas de deposição em relação ao ATA-TIG.

Figura 13 – Aumento nas taxas de deposição em relação ao ATA-TIG



Fonte: Autora (2022)

Para a corrente de soldagem de 100 A, o aumento da velocidade de arame com a introdução e aumento na corrente de indução foram proporcionais entre si, representando em torno de 30%. Em relação ao ATA-TIG, o ganho na taxa de deposição do material quando introduzido o aquecimento com 40 A foi de 37%, enquanto para a corrente de indução de 80 A foi de 73%, para a corrente de indução de 120 A, a taxa de alimentação do arame passou de 0,5 kg/h para 1,1 kg/h representando um aumento de 140%.

Analisando as taxas de deposição do arame alcançadas nos ensaios com correntes de soldagem de 150 A, pode-se observar que para a corrente de 40 A o aumento da velocidade de arame é de aproximadamente 33%. Por outro lado, pode-se verificar um aumento maior para as correntes de indução de 80 A e 120 A, em torno de 100% em relação ao ATA-TIG. Esse aumento quase linear entre as duas correntes de indução mencionadas, pode estar associado ao tamanho da bobina e a velocidade em que o arame de alimentação passa pela mesma, ou seja, quanto maior é essa velocidade de alimentação do arame, menor é o tempo de aquecimento do arame em seu comprimento, em virtude disso a taxa de deposição para ATAQ-TIG 80 A foi de

1,8 kg/h enquanto para ATAQ-TIG 120 A foi de 1,9 kg/h, representando um ganho de apenas 4%.

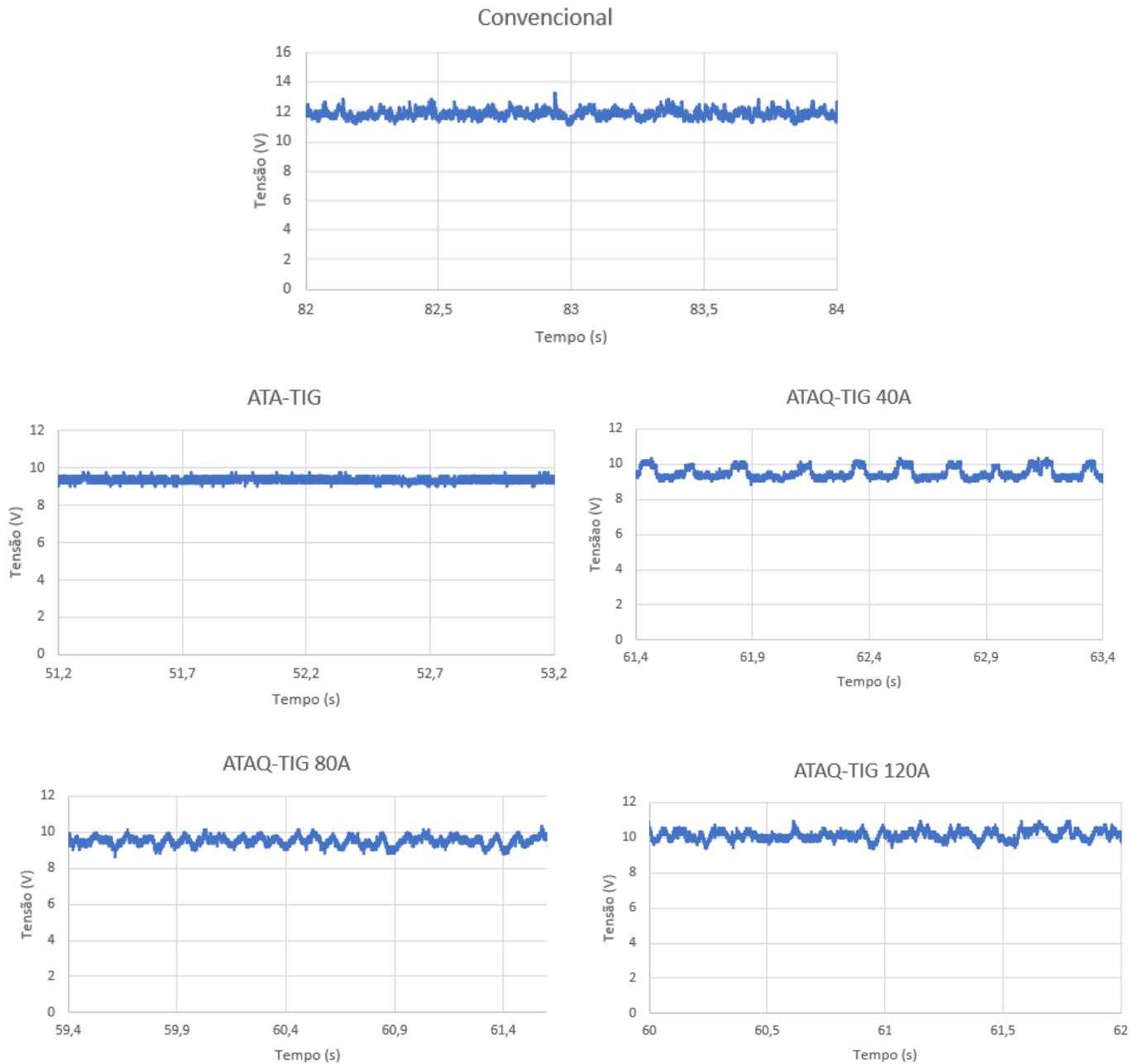
Para a corrente de soldagem de 200 A, o impacto da corrente de indução foi menor quando comparado com as correntes de soldagem menores. O aumento na velocidade de alimentação do arame com a corrente de indução de 40 A foi de 18%, enquanto o acréscimo da mesma para as correntes de indução de 80 A e 120 A foram de 57% e 81%, respectivamente. Isso mostra que mesmo utilizando um passo constante de 50 A para corrente de soldagem, os valores de velocidade do arame não são proporcionais, pois as mesmas foram ajustadas de acordo com a condição operacional do processo, ou seja, o modo de transferência por ponte metálica. Além disso, reforça a hipótese de que quanto maior é a velocidade em que o arame passa pela bobina, menor é o tempo de aquecimento em seu comprimento. Mesmo assim, a taxa de deposição na técnica de ATAQ-TIG 200 A com 120 A de corrente de indução, foi de 2,2 kg/h, no qual representa um aumento de 80% em relação ao ATA-TIG 200 A.

Tendo posto os resultados pode-se ressaltar que quanto maior é a corrente de soldagem, menor é o impacto da corrente de indução no aumento das taxas de alimentação do arame, ou seja, menores são os aumentos percentuais na taxa de deposição de material. Sendo assim, quanto a introdução do arame pré-aquecido frente à técnica de alimentação tangencial convencional, pode-se observar uma maior eficiência da técnica com aquecimento quando a corrente de soldagem é de 100 A, pois em relação a técnica ATA-TIG, foi possível alcançar um aumento de 140% na taxa de deposição utilizando a corrente de indução de 120 A.

## 4.2 ANÁLISES OPERACIONAIS DOS PROCESSOS

A Figura 14 mostra os oscilogramas para os ensaios realizados com correntes de soldagem com 100 A, pode-se notar um comportamento padronizado entre os ensaios, exceto para ATAQ-TIG 40 A. Neste caso, o gráfico apresenta degraus, tal característica pode ser justificada por uma mudança no tipo de transferência metálica, na qual idealmente buscou-se em todos os ensaios a transferência por ponte contínua, mas eventualmente esta pode ser alterada para transferência intermitente, pois a velocidade de arame não foi alterada durante o processo de soldagem.

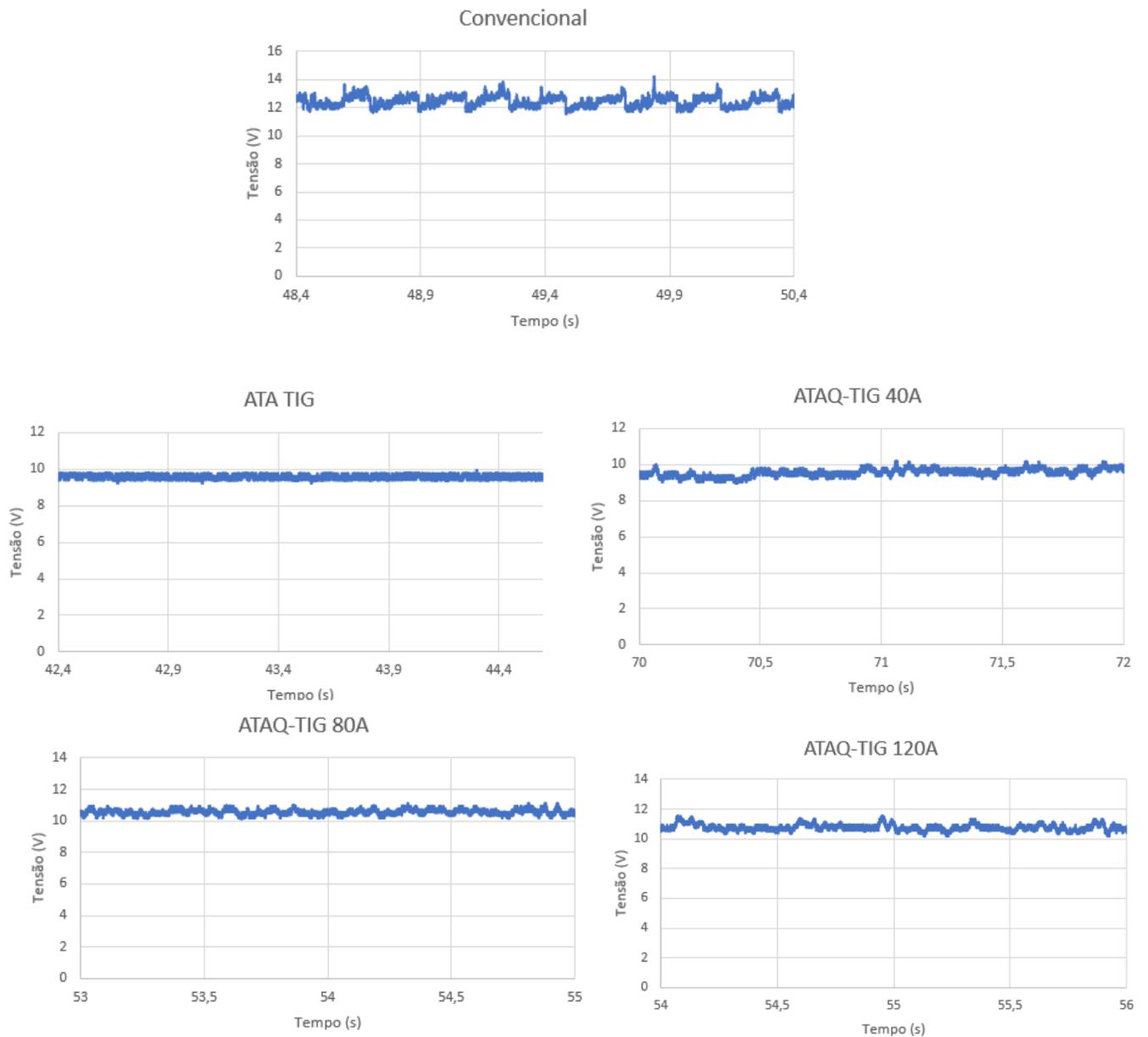
Figura 14 - Oscilogramas para correntes de soldagem de 100 A



Fonte: Autora (2022)

Os oscilogramas para os ensaios realizados com correntes de soldagem de 150 A, estão mostrados na Figura 15, onde evidencia que o comportamento anteriormente descrito não ocorre somente nos processos com ATAQ-TIG, pois na técnica convencional a perda da transferência por ponte metálica também pode ocorrer. Pode-se destacar também a estabilidade dos processos de soldagem, inclusive quando é introduzido o aquecimento indutivo no arame.

Figura 15 - Oscilogramas para correntes de soldagem de 150 A

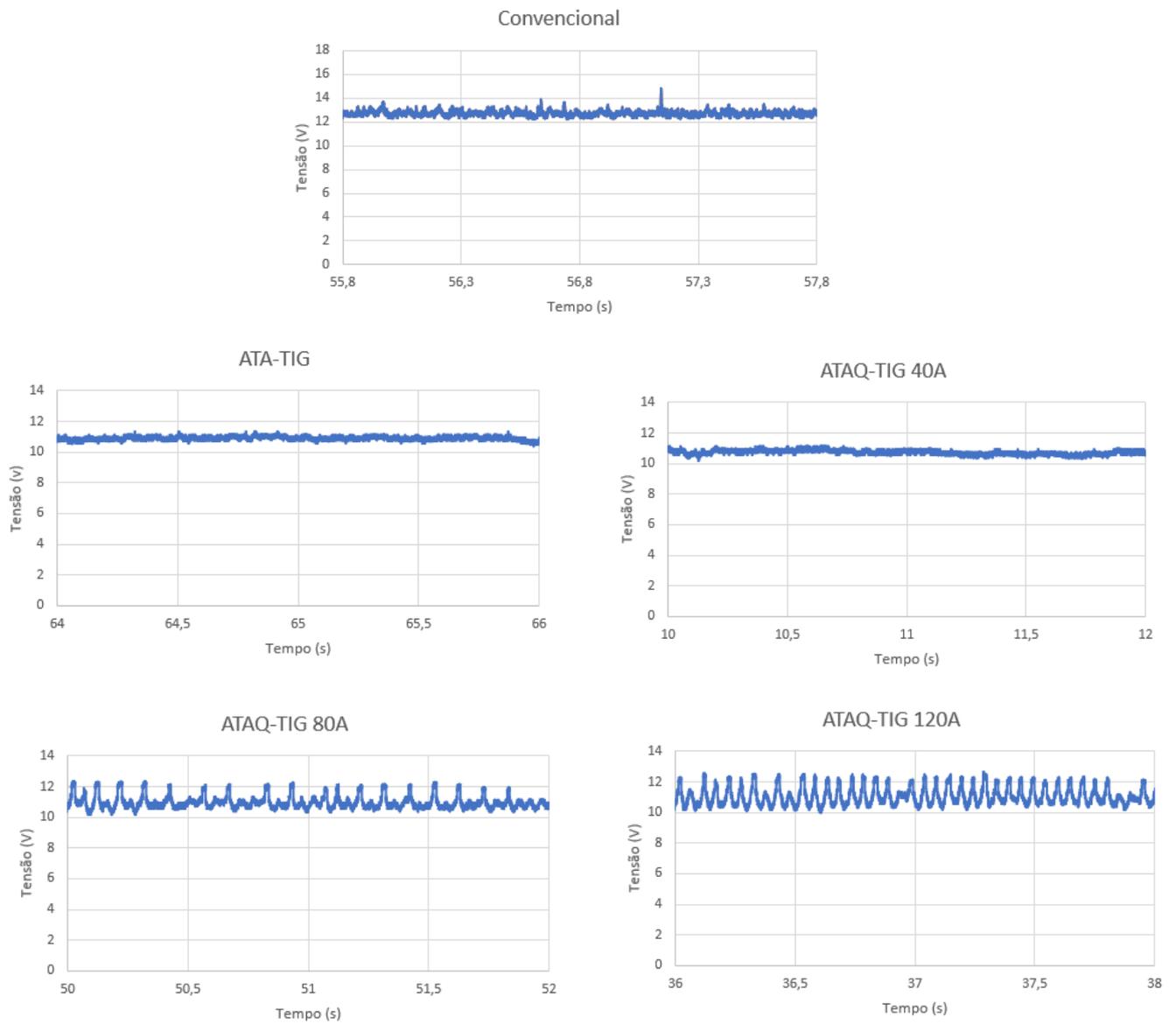


Fonte: Autora (2022)

Nos oscilogramas dos ensaios realizados com correntes de soldagem de 200 A, mostrados na Figura 16, percebe-se que um comportamento semelhante nos processos realizados com a técnica ATAQ-TIG 80 A e ATAQ-TIG 120 A, ocorrendo uma maior oscilação nos valores de tensão. Essas variabilidades são devido a criticidade em função a sensibilidade

da condição do limite da ponte metálica, que apesar de aparecer nos gráficos, o comportamento é imperceptível visualmente durante o processo de soldagem.

Figura 16 - Oscilogramas para correntes de soldagem de 200 A

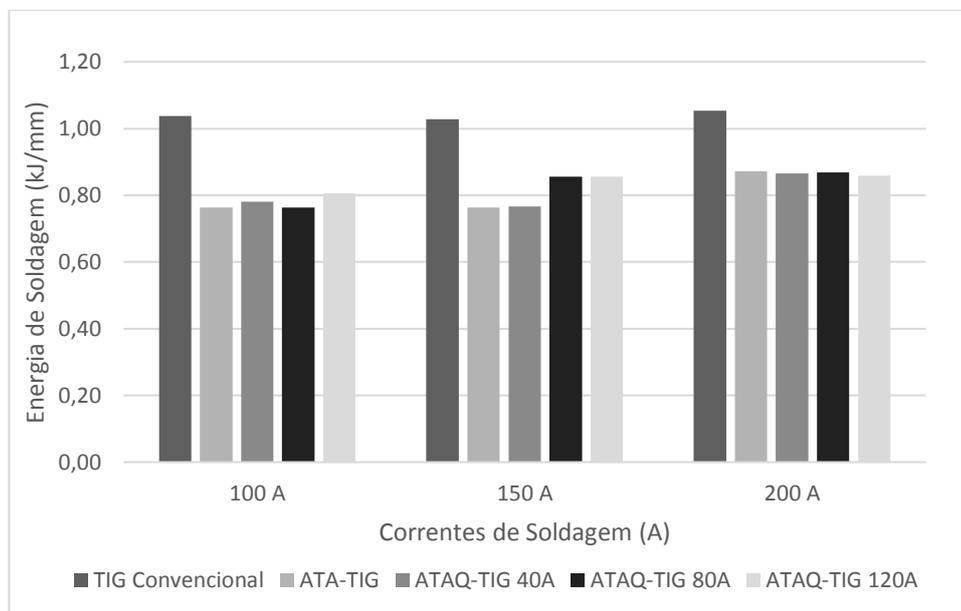


Fonte: Autora (2022)

Quanto a energia de soldagem, esperava-se que todos os valores fossem semelhantes entre as técnicas aplicadas para cada valor de corrente de soldagem, visto que se utilizou a razão da corrente de soldagem com a velocidade de soldagem para as diferentes técnicas realizadas, no que difere do apresentado na Figura 17.

Na técnica de TIG Convencional a energia de soldagem se manteve constante e com um valor mais elevado para as três correntes de soldagem empregadas, fato esse justificado por ter apresentado tensões de arco maiores durante a execução dos ensaios de soldagem. Uma maior energia de soldagem, o material tem mais facilidade em se espalhar, tendendo assim a ter menores reforços nos cordões de solda. A diminuição na energia de soldagem nas técnicas com alimentação tangencial, pode estar associada ao fato do arame estar entrando tangencialmente ao eletrodo e ter alturas efetivas de arco menores. Para corrente de soldagem de 200 A, a energia de soldagem foi de aproximadamente, 0,87 kJ/mm tanto para a técnica ATA-TIG e ATAQ-TIG.

Figura 17 - Energia de Soldagem referentes aos três grupos de ensaios

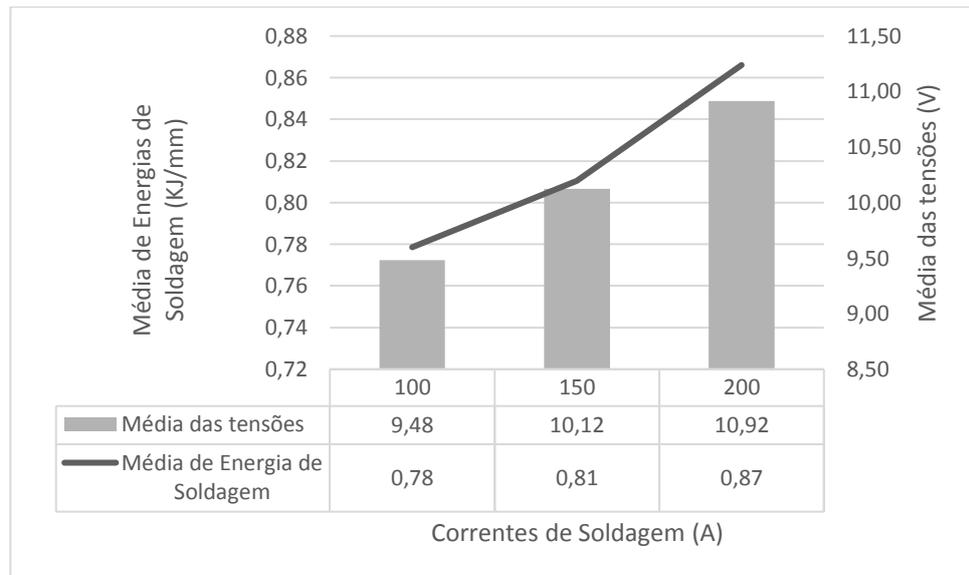


Fonte: Autora (2022)

Para análise das técnicas ATA-TIG e ATAQ-TIG, a Figura 18 apresenta os valores de média simples das energias de soldagem juntamente com as médias das tensões, obtidas para as quatro condições de alimentação tangencial (convencional e com aquecimento do arame). Percebe-se que para maiores valores de corrente de soldagem, maior é o valor médio de energia de soldagem, esse resultado está associado ao valor médio das tensões, nos quais foram de 9,5 V, 10,1 V e 10,9 V para correntes de soldagem de 100 A, 150 A e 200 A, respectivamente.

Importante ressaltar que para maiores valores de energia de soldagem, menor é o reforço e maior é a molhabilidade.

Figura 18 - Valores médios de Energia de Soldagem e tensões para as técnicas com alimentação tangencial



Fonte: Autora (2022)

## 5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos ao longo do desenvolvimento deste trabalho, conclui-se que, o objetivo de avaliar uma nova técnica de soldagem no processo TIG, utilizando a alimentação tangencial do arame, com aquecimento por indução eletromagnética visando uma eventual aplicação em soldagem por revestimento, foi alcançado. Além disso, acrescenta-se as seguintes conclusões para o trabalho:

- Quanto a infraestrutura capaz de aplicar a técnica proposta, a concepção de um protótipo de dispositivo de fixação da bobina para acoplamento junto à tocha de soldagem em conjunto a montagem da bancada e os equipamentos disponíveis, atenderam as exigências durante os processos de soldagem;
- Por estar em uma operação de soldagem bastante crítica, em alguns instantes a transferência metálica passou de ponte metálica para intermitente, porém imperceptível visualmente e não trouxe perturbação para a estabilidade do processo de soldagem;
- Quanto a validação da junção da técnica de alimentação tangencial do arame com a técnica de aquecimento por indução eletromagnética, mostrou-se eficiente em relação ao aumento na taxa de deposição de material;
- Nas técnicas com alimentação tangencial do arame, com uma quantidade menor de potência de arco, é possível alcançar taxas de deposição semelhantes às aquelas alcançadas com a técnica TIG convencional que necessitam de uma maior quantidade de potência de arco;
- Ao aplicar a técnica ATAQ-TIG 40 A, obteve-se um incremento na taxa de deposição de 37%, 33% e 18% para correntes de soldagem de 100 A, 150 A e 200 A, respectivamente em comparação a técnica ATA-TIG. Para corrente de indução de 80 A, o aumento na taxa de deposição foi de 73%, 104% e 57%, respectivamente.

Enquanto para a corrente de indução de 120 A, esse incremento foi de 140%, 112% e 80% nas taxas de deposição de material;

- Em termos de eficiência, o aquecimento do arame por indução eletromagnética, é possível perceber um maior efeito para a corrente de soldagem de 100 A, pois o aumento na taxa de deposição foi de 140% quando comparado a técnica ATA-TIG, enquanto para as correntes de soldagem de 150 A e 200 A, esse percentual não ultrapassou 112%;

## **6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Tendo em vista o trabalho realizado e os resultados obtidos, propõe-se sugestões para trabalhos futuros:

- Realizar análises morfológicas dos cordões de solda, em relação ao reforço, penetração e largura, afim de obter os valores de diluição correspondentes;
- Realizar ensaios com outros métodos de transferência metálica para verificar as taxas de deposição alcançadas.

## REFERÊNCIAS

- ABICHABKI, Talyta Castro. **Análise corrosiva em água do mar e névoa salina do aço AISI 1020 revestido por soldagem TIG com Inconel 625**. 2016. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Naval, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2016.
- BRAGA, Flávio José Villela. **Revestimento de inconel 625 sobre aço carbono ARBL utilizando variantes do processo TIG visando alta produtividade e baixa diluição**. 2017. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2017.
- CHEN, Shujin *et al.* **Investigation of hot-wire TIG welding based on the heat-conduction**. Energy Procedia. [S.I], p. 9-15. Jul. 2018.
- DINESH; ANANDEVEL; DAVAKUMARAN. Visualization of hot wire gas tungsten arc welding process. **International Research Journal of Engineering and Technology**. India, p. 1-6. Maio 2018.
- FORTAIN, J.; RIMANO, L.; VAIDYA, V. **Innovative process improves welding of sheet metal parts**. Welding Journal, p. 38-46, 2008.
- GODINHO, Cassiano *et al.* **Estudo comparativo entre a injeção tangencial e radial de arame do processo TIG**. In: XLII CONSOLDA – CONGRESSO NACIONAL DE SOLDAGEM, 42., 2016, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: Abs, 2016. p. 1-8.
- GOMES, José Henrique de Freitas. **Análise e otimização da soldagem de revestimento de chapas de aço ABNT 1020 com utilização de arame tubular inoxidável austenítico**. 2010. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2010.
- KATSUYOSHI, Hori *et al.* Development of Hot Wire TIG Welding Methods Using Pulsed Current to Heat Filler Wire. **Proceedings Of The Welding Society**, Japão, v. 21, n., p. 362-373, Jan. 2003.
- KUMAR *et al.* CRA Weld Overlay - **Influence of Welding Process and Parameters on Dilution and Corrosion Resistance**. In: STAINLESS STEEL WORLD AMERICA, 1., 2010, Houston, Texas. **Anais [...]**. Houston, Texas: Twi, 2010.
- LINNERT, George E.. **Welding Metallurgy Carbon and Alloy Steels**. 4. ed. Florida: American Welding Society, 1994.
- LUCAS, W. **TIG and Plasma Welding**. ISBN 978-1-85573-005-2. ed. [S.l.]: Abington, 1990.

MARQUES, Paulo Villani. **Soldagem: fundamentos e tecnologia**. 3. ed. Belo Horizonte: Ufmg, 2014.

MENEZES, Vanessa Guimarães Soares de. **Estudo comparativo entre técnicas de alimentação de arame no processo TIG**. 2016. 41 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Naval, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2016.

MR<sup>a</sup>, Anantha Padmanaban; NEELAKANDAN, Baskar; KANDASAMY, Devakumaran. A Study on Process **Characteristics and Performance of Hot Wire Gas Tungsten Arc Welding Process for High Temperature Materials**. .. India, p. 76-87. Set. 2016.

OLIVARES, Erick Alejandro González; DÍAZ, Victor Manuel Vergara. Estudo do Processo TIG Hot-Wire com Material de Adição AISI-315L Analisando o Efeito do Sopro Magnético do Arco sobre a Diluição do Cordão de Solda. **Soldagem & Inspeção**. Chile, p. 1-12. Out. 2016.

SILVA, Cleiton Carvalho. **Revestimento de ligas de níquel depositados pelo processo TIG com alimentação de arame frio - Aspectos operacionais e metalúrgicos**. 2010. 335 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia e Ciência de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

VOIGT, Anna Louise. **Desenvolvimento e avaliação de método de aquecimento por indução do arame para o processo de soldagem TIG “hot wire”**. 2019. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2019.

**APÊNDICE A – IMAGENS CORDÕES DE SOLDA**