

# Soldagem de alumínio – Uma abordagem teórica e prática na soldagem do alumínio série 5000 pelo processo TIG

Aluminum welding – a theoretical and practical approach to the aluminum welding series 5000 by the TIG process

Rodrigo Ráfaga de Souza<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Faculdade Anhanguera Bauru –, Faculdade de Engenharia de Bauru. Av. Moussa Nakhl Tobias, 3-33, Parque São Geraldo, Bauru, SP, Brasil  
e-mail: rodrigo\_rafaga@hotmail.com ; rodrigo.souza@sp.senai.br

---

## RESUMO

A soldagem do alumínio sempre carregou algumas místicas aos iniciantes do mundo da metalurgia, assim como a dificuldade em obter padrões aceitáveis mesmo aos soldadores mais experientes. Na indústria, vem-se aplicando cada vez mais a melhoria na seleção dos processos, consumíveis e métodos para a união permanente desse metal de suma importância e valorização nos processos de fabricação. Para a realização da soldagem do alumínio pelo processo TIG, utilizou-se a liga AA 5052 H34 série naval com espessura de 3mm, material cujo possui alta resistência ao desgaste e ótima soldabilidade, tendo aplicações variáveis, desde a construção de embarcações, tanques de combustível a carrocerias de ônibus. No estudo teórico e prático demonstrou-se a obtenção de cordões de solda livres de algumas descontinuidades, tais como poros, mordeduras, contaminações por inclusão de tungstênio, assim como bons resultados na solda em ângulo e penetração de 100% no comprimento da junta, montadas em topo e quina, nas posições plana, horizontal e vertical. A não realização de nenhum tipo de chanfro, quebra de cantos vivos nas arestas das chapas com uso de limas, ou utilização de backing cerâmico fez com que os parâmetros fossem altamente determinados para garantir a total penetração na junta em somativa da boa limpeza do material de base e do material de adição com álcool. Realizou-se então a união dos materiais de forma manual em único passe com a utilização do eletrodo não consumível de Tungstênio (W) Binzel E3 com trióxidos a base de Tório, garantindo uma boa estabilidade do arco e também uma maior vida útil da ponta arredondada do eletrodo gerado pela corrente alternada. O modo didático que se apresenta o estudo, permitirá o soldador a realizar seu trabalho com mais precisão, podendo acompanhar em tabelas a aplicação dos parâmetros de frequência, percentual de balanço, e demais variáveis que formarão o bom resultados e com isso repasse aos desafios da indústria.

**Palavras-chave:** Soldagem TIG, Alumínio 5052H34, Penetração em alumínio, Soldagem em alumínio, Alumínio Nava, TIG Alumínio, TIG Corrente Alternada.

---

## ABSTRACT

The welding of aluminum has some characteristics for the beginners of the world of metallurgy, as well as a series of products more suitable even to those sold more experienced. In the industry, we are applying more and more in the selection of processes, consumables and methods for a permanent union of the metal of importance and valorization in the manufacturing processes. TIG, use an alloy AA 5052 H34 naval series with thickness of 3mm, embossed material, fuel tanks compressors, fuel tanks a bus bodies. No theoretical and practical study has shown that it is a set of strands of pounds free from some discontinuities such as pores, bites, contaminations by the inclusion of tungsten, as well as their benefits in language and 100% bond length penetration, assembled in top and bottom, in the flat, horizontal and vertical positions. The use of a chamfer type, the breaking of sharp corners in the veneer wood with the use of limes, or the use of ceramic backing made the yen more important to ensure a total digitizing pen in the sum of the good cleaning of the material of base and addition material with alcohol. The materials were manually joined in a pass using the non-consumable Tungsten (W) Binzel E3 electrode with Trio-based trioxides, ensuring good arc stability and longer tip life. rounded electrode generated by the alternating current. The didactic method that is presented for the study, in order to allow the execution of its work with more precision, can follow it in matrices the application of the frequency parameters, the balance percentage, and the other variables that create the results industry.

**Keywords:** TIG Welding, Aluminum 5052H34, Aluminum Penetration, Aluminum Welding, Nava Aluminum, TIG Aluminum, TIG Alternating Current.

---

## 1. INTRODUÇÃO

A soldagem TIG é um processo que utiliza um arco elétrico gerado por um eletrodo não consumível de tungstênio e protegido por uma cortina de gás inerte. A sigla TIG se refere a uma abreviação de Tungsten Inert Gas (Tungstênio Inerte Gás) (POEPCKE,2013). O processo é aplicado nas mais diversas áreas e nos mais vastos parques industriais pela sua resistência, acabamento, capacidade de soldar materiais ferrosos, não ferrosos e dissimilares. A engenharia busca, por meio dos materiais, fatores que aliam maior resistência mecânica e baixo peso. Diante deste cenário, o alumínio surge como uma das alternativas mais interessantes para o ramo industrial. O alumínio e suas ligas possuem um vasto campo de aplicação, que abrange desde utensílios de cozinha até aplicações aeroespaciais (SANTOS, 2009).

O peso de uma estrutura construída por esse metal é fortemente levado em consideração pelos projetistas, além das vantagens em sua característica de ante oxidação e sua resistência mecânica em condições ligáveis que superam o aço. Porém sua soldagem foi inicialmente considerada difícil pela maioria dos profissionais, devido a aplicação de técnicas semelhantes aquelas empregadas nos metais ferrosos pelos pioneiros, obtendo assim um trabalho de baixíssima qualidade (POEPCKE,2013).

Atualmente a escolha do processo TIG para ligas de alumínio se torna preferencial em praticamente todas situações, contudo, a intensiva aplicação das ligas navais de série 5000 fortalecem o estudo de técnicas para evitar descontinuidades severas no material de base. Dentre as técnicas para a realização de uma soldagem TIG convencional em aço carbono, para ligas de alumínio destaca-se o formato da onda utilizada, controle de frequência e balanço de energia, parâmetros que interagem na penetração das juntas, na taxa de deposição e respectivo acabamento. Em muitos casos havendo a necessidade de alterar o tipo de liga no eletrodo de tungstênio e demais insumos para tocha (CATARINO, 2015).

Nesse estudo, será desenvolvido ensaios com o uso do alumínio AA 5052 H34 com espessura de 3mm, material cujo composição química demonstra tratamento de encruamento estabilizado, seu teor de magnésio é variável entre 2,2 à 2,8%, dureza de 67HB e limite de resistência de 255Mpa.

Um dos maiores problemas na soldagem do alumínio está na remoção da camada de óxidos de alumina ( $Al_2O_3$ ), que possui alto ponto de fusão (2038° C), enquanto que a temperatura de fusão do alumínio chega próximo de 660°C. Por esse motivo, antes de iniciar a soldagem do alumínio é necessário remover a camada de óxidos presente na superfície do material base a ser soldado (ALCAN, 1993). O autor ainda cita que para a realização de limpeza pelo processo de imersão, utiliza-se solução de 5% de soda cáustica a uma temperatura de aproximadamente 70°C numa margem de tempo de 10 a 60 segundos, essa prática ainda que eficiente, é pouco aplicada, pela dificuldade em executa-la em peças grandes, de geometria complexa, e pelo alto custo que será agregado posteriormente ao final do projeto. Comumente, realiza-se a limpeza com produtos químicos comerciais, podendo ser utilizado acetona ou álcool, aplicado nas bordas e áreas adjacentes da junta.

De acordo com Catarino (2015), o uso de corrente alternada com onda retangular ou quadrada na união do alumínio, permite uma estabilidade de arco maior, pelo aproveitamento de tempo em que a corrente irá percorrer no pico e vale da onda, sendo que em uma onda senoidal, a instabilidade de arco é maior e por isso ocorre descontinuidades com maior frequência.

Uma das vantagens do uso da corrente alternada está no balanço de energia, parâmetro encontrado nas fontes de soldagem para alumínio que resulta na possibilidade de variação do tempo de onda nos polos positivo e negativo. Essa variação diretamente na fonte permite ao soldador determinar se haverá maior efeito de limpeza na junta ou maior taxa de penetração. Conforme o percentual de balanço estiver maior para o polo positivo, melhor será o efeito de limpeza e acabamento do cordão de solda, porém, sua penetração no material de base será inferior. E quanto maior o percentual de balanço de energia para o polo negativo, melhor será a penetração no corpo de prova, porém haverá menor capacidade de efeito de limpeza da camada de óxidos, podendo resultar em contaminação no material depositado (ALCAN, 1993).

Outro parâmetro a ser determinado na soldagem do alumínio, é a frequência em Hertz (Hz), esse parâmetro, que determinar a quantidade de ciclos por segundo na corrente interfere diretamente na velocidade de soldagem e facilidade de deposição do material de adição. A aplicação convencional de frequência é de natureza igual a vinda da rede elétrica, na casa de 60Hz, porém, com o aumento da frequência, há um menor aquecimento da junta e assim um controle maior na deposição de material feita pelo soldador e redução na velocidade de soldagem. Com a diminuição do valor de frequência, obtém-se um acréscimo na temperatura do material de base e conseqüentemente uma necessidade de aumentar a velocidade de soldagem (CATARINO, 2015).

Na soldagem de alumínio naval série AA 5052 H34 com espessura de até 3mm, recomenda-se aplicação de balanço de energia em 75% ao polo positivo em onda retangular, dessa forma, como a espessura do material é pequena, o calor gerado no arco não precisa ser excessivo, podendo então garantir um bom efeito de limpeza e posteriormente um bom acabamento independentemente da posição de soldagem que irá trabalhar, em juntas de topo e quina. No parâmetro de frequência, para a mesma dimensão de chapa, recomenda-se 120Hz de frequência, garantindo assim uma velocidade baixa de deposição de material, em torno de 30 a 50 cm/min e consequentemente um maior controle na poça de fusão e melhor acabamento.

Esse estudo foi desenvolvido para aplicar a técnica de soldagem manual em chapas de alumínio naval com 3mm de espessura, afim de garantir uma penetração total na seção transversal sem a necessidade de realizar preparos específicos nas juntas, tais como aberturas de raiz e chanfros. A seleção dos parâmetros de frequência e balanço de energia em onda retangular, garante uma velocidade baixa de soldagem, bom acabamento e maior coordenação motora de soldadores experientes e até mesmo com iniciantes.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O equipamento utilizado para a realização do presente estudo foi uma fonte de soldagem transformadora retificadora CEA Matrix 250AC/DC com sistema de arrefecimento na tocha de soldagem. A escolha dos parâmetros e insumos utilizados para os testes, foram realizadas com base em estudos preliminares, que se encontram na tabela 01.

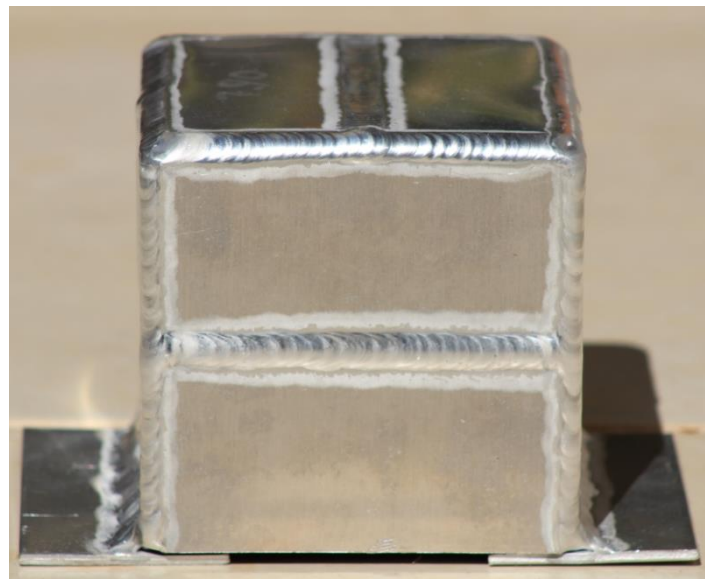
**Tabela 1:** Parâmetros utilizados nos testes de soldagem de alumínio

Fonte de soldagem	CEA Matrix 250A (AC/DC)
Sistema de arrefecimento	UR-AP – 20L
Tocha de soldagem	Tocha com gatilho HW26
Bocal	Cerâmico convencional nº 8
Pinça	Latão bipartida diâmetro 2,4mm
Difusor de gás	Convencional 2,4mm
Eletrodo	Tungstênio Binzel E3 – diâmetro 2,4mm
Gás de proteção	Argônio puro 4.0
Material de adição	ER – 5356 diâmetro de 3,25mm
Tipo de corrente	Alternada
Tipo de onda	Retangular desbalanceada
Pré vazão de gás	3 segundos
Pós vazão de gás	15 segundos
Frequência	120 Hz
Balanço de energia	75% positivo
Sistema de ignição do arco	Alta frequência em 4 tempos
Tipo de afiação do eletrodo	Arredondada
Tempo de soldagem	30 à 50 cm/min
Técnica de deposição	Gotejamento
Stick-Out	5mm
Vazão do gás	10 L/min
Distância do eletrodo à peça	4mm

O material de base é composto de chapas de alumínio naval série AA 5052 H34 com espessura de 3mm, comprimento de 100mm e largura igual a 50mm. Já o material de adição, foi selecionado de varetas de alumínio ER-5052 com diâmetro de 3,25mm ,gerando assim uma deposição de material suficiente para evitar descontinuidades, como mordeduras, falta de fusão e deposição insuficiente. O eletrodo não consumível de tungstênio (W) utilizado foi modelo Binzel E3 com diâmetro de 2,4mm, eletrodo ao qual possui vários elementos de liga, que na soldagem das ligas de alumínio, oferece uma forte estabilidade de arco, além do

efeito limpeza na ponta do eletrodo e seu arredondamento uniforme por efeito da corrente alternada, sendo também eficiente na não transferência de contaminações para a peça e pouca instabilidade de arco. A tocha utilizada foi o modelo HW26 refrigerada, com gatilho e alta frequência, montada com bocal cerâmico número 8 convencional. Não aplicamos bocal gás lens na soldagem do alumínio, pois o excesso de gás em torno da poça de fusão gera instabilidade de arco e consumo do eletrodo de tungstênio. A corrente elétrica aplicada varia de acordo com tipo de junta e posição a trabalhar, a frequência utilizada foi de 120Hz para todos os corpos de prova, assim como balando de energia de 75% . Nessa fonte de soldagem é possível informar qual o diâmetro do eletrodo de tungstênio utilizado, sendo informado valor menor do que o usado, evitando assim instabilidades de arco. Na limpeza das chapas e das varetas, utilizamos álcool para garantir uma assepcia de qualidade.

A soldagem foi realizada de forma manual, na montagem de uma estrutura com 5 juntas de topo sem abertura de raiz ou chanfros nas posições AWS 1G, 2G e 3G com 100% de penetração do lado oposto, 8 juntas de quina nas posições horizontal e vertical, e 2 juntas de ângulo na posição AWS 2F, sendo unidas sem excesso de calor, mordeduras ou desvio de perna conforme imagens a seguir.



**Figura 1:** Vista frontal de estrutura em alumínio naval 5052H34 soldada pelo processo TIG

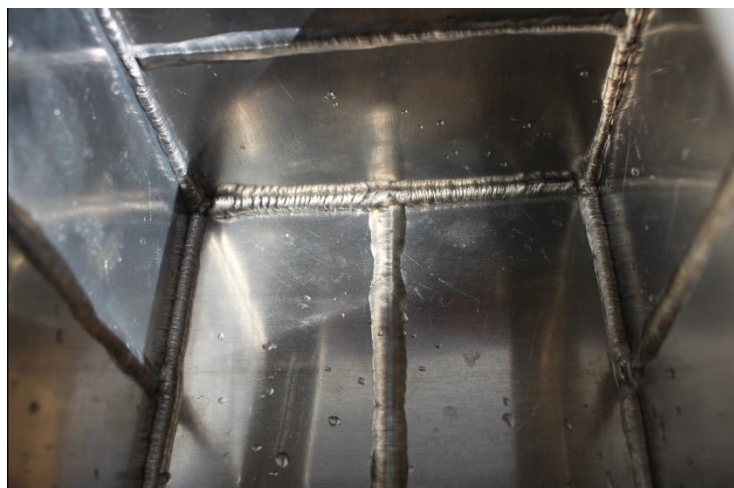


**Figura 2:** Junta de ângulo na posição 2F



**Figura 3:** Vista superior de estrutura em alumínio naval 5052H34 soldada pelo processo TIG

É possível observar que a técnica de deposição do material por gotejamento facilita a formação de escamas no cordão de solda, garantindo assim uma uniformidade na largura do passe e também no controle de calor. A faixa de limpeza da camada de óxidos pode ser observada na região próxima ao cordão de solda, efeito que garante a não contaminação do material soldado. Nesse estudo, a utilização de alto tempo no parâmetro de pós vazão de gás (15 segundos), garante que a ponta do eletrodo de tungstênio não entre em contato com o ar atmosférico enquanto quente, evitando também possíveis contaminações do elemento condutor no material líquido.



**Figura 4:** Penetração de 100% das juntas vista pelo lado interno da estrutura em alumínio naval 5052H34

Uma das grandes dificuldades na soldagem do alumínio, está na condição de obter penetração total em toda seção transversal da junta, essa penetração é demonstrada com a projeção do material ao lado oposto onde foi direcionado o arco elétrico. Com isso, é possível garantir uma união perfeita em toda seção, evitando possíveis trincas e falta de fusão.

Na união do alumínio naval série 5000 o magnésio, com teores abaixo de 2,5%, é um dos elementos mais abundantes da liga, e proporcionam os maiores teores de resistência entre as ligas não tratáveis termicamente. Porém, um dos efeitos após sua soldagem, é a possibilidade de formação de fissuras o quente durante a fase de solidificação, por esse motivo, o material de adição não pode compor dos mesmos componentes do material de base. Recomenda-se então, a aplicação de material de adição com teores de magnésio que ultrapassem 3% de Mg, os mais encontrados na indústria para a realização dessa soldagem possuem 5% de Mg (ER-5356, ER-5556 e ER-5183) (GOMES, 2017).

Para a realização dos cordões de solda em diferentes posições, houve uma variação nos parâmetros de corrente, justamente pelos efeitos da gravidade onde a tendência de a solda escorrer é maior em posições verticais, o excesso de corrente poderá superaquecer o material e com isso deforma-lo e derrete-lo, comprometendo toda sua estrutura. A tabela 2 informa os parâmetros utilizados nos corpos de prova.

**Tabela 2:** Parâmetros utilizados nos testes de soldagem de alumínio

PARÂMETROS DE SOLDAGEM					
TIPO DE JUNTA	CORRENTE MÉDIA (A)	BALANÇO (%)	FREQUÊNCIA (Hz)	VAZÃO DE GÁS (L/min)	VELOCIDADE DE SOLDAGEM (cm/min)
1G	115	75% positivo	120	10	
2G	115				
3G	90				
Quina Vertical	90				
Quina Horizontal	95				
2F	160				

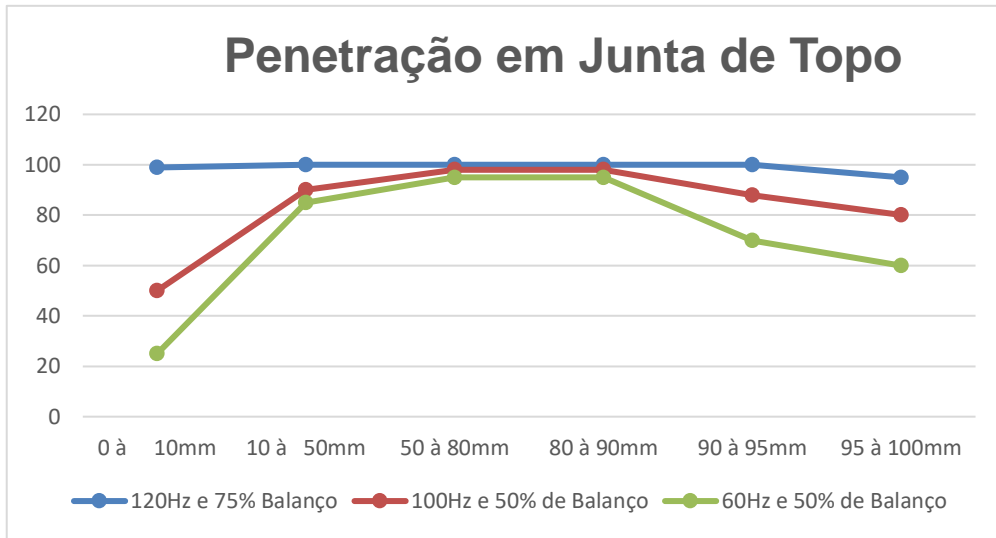
A utilização do parâmetro de frequência maior que 120Hz proporciona um arco elétrico estável, porém a transferência de calor é menor devido ao efeito Joule e com isso a velocidade de soldagem é baixa, o que pode comprometer a penetração da junta. Foi observado que abaixo de 120Hz, a transferência de calor aumenta, e com isso a probabilidade de derreter o material é maior, principalmente em juntas fora da posição plana.

Para o balanço de energia com onda retangular, observou-se que com valores diferentes de 75% do tempo de corrente no polo positivo, houve dificuldade em obter uma boa limpeza na margem da junta, facilitando a contaminação e formação de porosidade e contaminação do eletrodo de tungstênio.

### 3. RESULTADOS

Este tópico apresenta os resultados obtidos conforme o procedimento descrito anteriormente. Todos os resultados obtidos encontram-se em função do parâmetro de frequência e balanço de energia. Os resultados são expostos nos termos; percentual de penetração em juntas de topo com dimensão de 100mm de comprimento; não formação de excesso de calor em juntas de ângulo. As verificações de penetração nas juntas de topo foram feitas através de END visual e dimensional, com uso de paquímetro quadrimensional digital Mitutoyo de 300mm. Os mesmos métodos foram utilizados para verificação de excesso de calor e derretimento da face oposta nas juntas de ângulo.

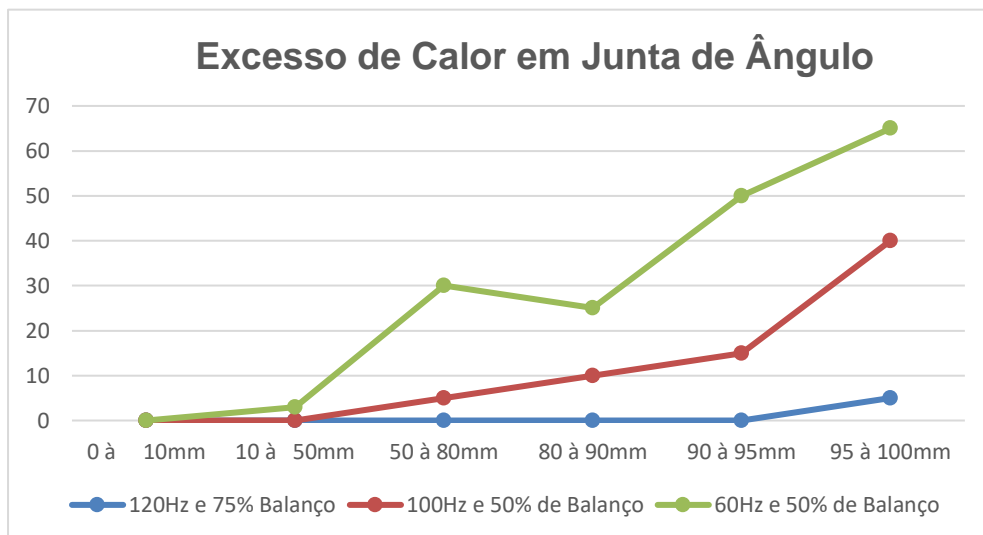
### 3.1 Penetração



**Figura 5:** Variação de penetração na junta de 3mm conforme frequência e balanço de energia

É possível observar que numa junta de 100mm de comprimento, a penetração foi praticamente de 100% em todo comprimento, com a utilização de 120Hz e 75% de balanço de energia. Como se trata de uma soldagem manual, variações de velocidade de deslocamento da tocha podem interferir em mais ou menos penetração pelo tempo do arco elétrico exposto a uma mesma área de soldagem. Com a utilização de outras combinações dos parâmetros tratados nesse estudo, observou-se grandes dificuldades em obter boa penetração no início da junta, região comumente fria e ao qual a estabilidade de arco ainda é baixa. No final do passe, todos os parâmetros demonstraram uma queda de penetração, justamente por não estarmos trabalhando com uso de pedaleira de acionamento para o arco elétrico, o que induz a uma redução brusca no parâmetro de corrente e consequentemente perda de calor.

### 3.2 Excesso de calor



**Figura 6:** Formação de excesso de calor nas juntas de ângulo

O excesso de calor pode ser definido como uma penetração indesejável nas juntas de ângulo, essa penetração pode interferir na montagem de componentes subsequentes a uma estrutura, ou no empenamento da mesma.

De acordo com os testes realizados nesse estudo, foi possível observar que com o alto valor do balanço de energia, foi possível melhorar o efeito de limpeza e minimizar o excesso de calor em chapas de alumínio naval com espessura de 3mm. No final do passe, o aquecimento atinge seu maior ponto na estrutura montada e com isso a facilidade na formação de excesso de calor. Contudo, é possível observar no gráfico acima que o valor de excesso de calor nos parâmetros apresentados aqui como referência, obteve-se 5% de excesso numa região de 5mm de comprimento, dimensão desprezível na soldagem de grandes estruturas.

#### 4. CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos pelo presente trabalho, as conclusões obtidas serão listadas a seguir.

- A técnica de uso de onda desbalanceada retangular apresentou melhor estabilidade de arco;
- O uso do eletrodo de tungstênio Binzel E3 apresentou melhor estabilidade de arco e não contaminação do mesmo, diferentemente do eletrodo de tungstênio puro comumente indicado para trabalhos em alumínio;
- O uso de frequência em 120Hz para espessura de chapas de 3mm de alumínio AA 5052H34 fornece um maior controle da poça de fusão e uma penetração controlada, garantindo resistência em toda seção transversal da junta;
- O uso de balanço de energia com 75% do tempo de corrente no polo positivo, melhora os efeitos de limpeza e evitam contaminações oriundas da camada de alumina e contaminantes atmosféricos.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da UNESP de Bauru – SP, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, ao Centro de Treinamento SENAI “Edward Sávio” da cidade de Jaú, que forneceram os corpos de prova e disponibilizaram todas as demais estruturas para a realização dos ensaios, análises e aplicações desses parâmetros nos treinamentos dos representantes da São Paulo Skills 2017.

#### 6. BIBLIOGRAFIA

ALCAN, **Manual de Soldagem**, Alcan Alumínio do Brasil S/A, 1ª Edição. 1993. 140 p.

CATARINO, Jhonny Max. **Influência do desbalanceamento de onda retangular na liga de alumínio 6063-T6 soldada pelo processo TIG-AC**. 2015, 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” UNESP, Bauru – São Paulo, 2015.

GOMES, Davi Pegado. **Estudo de um Procedimento de Soldagem para liga de Alumínio**. Projeto de Graduação do Curso de Engenharia Naval e Oceânica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, setembro de 2017, 69 p.

POEPCKE, Saturnino et al. **Soldagem**. Editora SENAI-SP, São Paulo, 2013. 720 p.

SANTOS, Flávio José. **Soldagem de alumínio: Influência nos parâmetros de pulso na distorção angular**. 2009, 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” UNESP, Bauru – São Paulo, 2009.