

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS  
CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

JOÃO PAULO SIMONETTI

**INFLUÊNCIA DA INTENSIDADE DE CORRENTE SOBRE O CUSTO DE SOLDAS  
DE TOPO EM CHANFRO PRODUZIDAS PELO PROCESSO FCAW  
EMPREGANDO ARAME “METAL CORED”**

BELO HORIZONTE

2021

JOÃO PAULO SIMONETTI

**INFLUÊNCIA DA INTENSIDADE DE CORRENTE SOBRE O CUSTO DE SOLDAS  
DE TOPO EM CHANFRO PRODUZIDAS PELO PROCESSO FCAW  
EMPREGANDO ARAME “METAL CORED”**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao curso de graduação em  
Engenharia de Materiais do Centro Federal  
de Educação Tecnológica de Minas Gerais  
como requisito parcial para obtenção do  
título de bacharel em Engenharia de  
Materiais

Orientador: Cláudio Turani Vaz

Belo Horizonte  
2021

JOÃO PAULO SIMONETTI

**INFLUÊNCIA DA INTENSIDADE DE CORRENTE SOBRE O CUSTO DE SOLDAS  
DE TOPO EM CHANFRO PRODUZIDAS PELO PROCESSO FCAW  
EMPREGANDO ARAME “METAL CORED”**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao curso de graduação em  
Engenharia de Materiais do Centro Federal  
de Educação Tecnológica de Minas Gerais  
como requisito parcial para obtenção do  
título de bacharel em Engenharia de  
Materiais

Aprovado em:  
**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Cláudio Turani Vaz

---

Prof. Dra. Elaine Carballo Siqueira Corrêa

---

Prof. Dr. Euclides Gonçalves Martins Filho

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus e sua Mãe por me dar forças para continuar minha formação.

Agradeço aos meus pais, irmãos e minha esposa por me apoiarem no caminho, fazendo com que ele fosse muito mais tranquilo e seguro.

Agradeço aos meus professores que me acompanharam durante toda a faculdade me ajudando a me tornar um melhor profissional. Especialmente aos professores Euclides pela orientação no TCC 1 que me ajudou a compreender mais sobre o processo FCAW e ao Cláudio Turani pelo acompanhamento próximo e orientação nesse novo estudo.

Agradeço à professora Aline, pela ótima condução da matéria TCC II e pelo apoio próximo que nos deu, tornando todo processo mais leve.

Agradeço aos meus amigos que me acompanharam, especialmente ao Rafael, Ana Luiza, Naty, Damares e Izabella.

Ao CEFET pela oportunidade de estudar em um centro federal e por toda estrutura fornecida.

## RESUMO

Métodos mais econômicos de produção são objeto de desejo de muitas empresas na atualidade. Um desafio encontrar esses métodos e os pontos de maior impacto para agir diretamente e provocar mudanças significativas no custo final da empresa. No caso da soldagem, vários fatores impactam diretamente o custo da operação, como equipamentos, consumíveis, mão-de-obra, energia entre outros. Um dos métodos usados na soldagem é a análise de custo variando parâmetros específicos para assim observar as formas mais econômicas dos processos. Sendo assim, cada análise apresenta suas especificidades e podem variar muito de acordo com os parâmetros utilizados. O presente trabalho tem por objetivo realizar simulações matemáticas com o intuito de avaliar as modificações no custo de soldagem após variações nos parâmetros elétricos.

Para esse trabalho foi utilizado o processo de soldagem FCAW (Flux-Cored Arc Welding), utilizando-se de um arame tubular com fluxo metálico "*metal cored*", que apresentam eficiência de deposição superior aos arames tubulares em geral, por apresentarem fluxo metálico com pouco ou nenhum ingrediente de formação de escória. O gás de proteção usado foi uma mistura de Argônio e dióxido de carbono em proporções de 75% e 25% respectivamente. Nas simulações foram levadas em consideração uma junta de topo em "V" e uma soldagem plana. O custo total da solda foi dividido em 3 parcelas: custo do consumível, custo de mão de obra e custo da energia. Tais parcelas foram calculadas em uma planilha de custo e as simulações foram realizadas variando-se o parâmetro elétrico de Corrente. Essa divisão permitiu com que se obtivesse uma equação final do custo de solda por metro dependente apenas dos parâmetros de Eficiência de Deposição, Taxa de Deposição, Tensão e Corrente.

A partir da fórmula final foi possível analisar a economia gerada pela variação dos parâmetros elétricos, a participação de cada parcela do custo no preço total e qual a parcela que obteve maior impacto sobre os parâmetros variados. Além de comparar o resultado com o que diz a biografia a respeito do cálculo de custo de soldagem.

## ABSTRACT

More economical methods of production are the object of many companies today. The challenge is to find these methods and the points of greatest impact to act directly and bring about significant changes in the company's final expenditure. In the case of welding, several factors directly impact the cost of the operation, such as equipment, consumables, labor, energy, among others. One of the methods used in welding is cost analysis, varying specific parameters to observe the most economical forms of the processes. Therefore, each analysis has its specificities and can vary a lot according to the parameters used. The present work aims to achieve mathematical models in order to evaluate changes in the cost of welding after variations in electrical parameters.

For this work, the FCAW welding technique (Flux-Cored Arc Welding) was used, using a tubular metal cored wire, which present deposition efficiency superior to the tubular wires in general, as they present metallic flow with little or no slag-forming ingredient. The shielding gas used was a mixture of Argon and carbon dioxide in proportions of 75% and 25% respectively. In the simulations, a "V" butt joint and a flat weld were taken into account. The total cost of the weld was divided into 3 installments: consumable cost, labor cost and energy cost. Such plots were calculated on a cost spreadsheet and the simulations were carried out by varying the electrical current parameter. This division allowed a final equation of the welding cost per meter to be obtained, depending only on the parameters of Deposition Efficiency, Deposition Rate, Voltage and Current.

From the final formula it was possible to analyze the savings generated by the variation of the electrical parameters, the share of each portion of the cost in the total price and which portion had the greatest impact on the varied parameters. In addition to comparing the final result with what the biography says about the welding cost calculation.

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 .....	19
Equação 2 .....	19
Equação 3 .....	19
Equação 4 .....	19
Equação 5 .....	20
Equação 6 .....	20
Equação 7 .....	27
Equação 8 .....	28

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1: Esquemática do processo de Soldagem a Arco com Arame Tubular (FCAW) .....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 2: Vantagens do processo de soldagem FCAW “Metal Cored” .....</b>	<b>15</b>
<b>Figura 3: Diferentes perfis de solda conforme o gás de proteção usado .....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 4: Participação de cada parcela no custo final de soldagem .....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 5: Esquema de organização dos materiais e métodos .....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 6: Especificações da fonte de soldagem.....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 7: Planilha usada para os cálculos de custo envolvidos no processo de soldagem.....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 8: Junta de topo em “V” .....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 9: Variação da Eficiência de deposição com o aumento da corrente.....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 10: Variação da Taxa de Deposição com o aumento da corrente .....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 11: Variação da Tensão com o aumento da corrente.....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 12: Custo do metro de solda de acordo com a corrente usada .....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 13: Custo das parcelas envolvidas no cálculo total de custo da solda..</b>	<b>33</b>
<b>Figura 14: Representatividade percentual de cada parcela do custo da solda .</b>	<b>34</b>
<b>Figura 15: Economia no Custo da Mão de Obra .....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 16: Economia no Custo do Consumível .....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 17: Economia no Custo do Consumível .....</b>	<b>37</b>



## **LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1 – Deposição e eficiência do consumível diante da variação dos parâmetros elétricos .....</b>	<b>22</b>
<b>Tabela 2 – Valores de tensão associados à corrente utilizada .....</b>	<b>24</b>
<b>Tabela 3 – Parâmetros simplificados utilizados para o cálculo do custo total..</b>	<b>27</b>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
<b>2 OBJETIVOS</b>	<b>12</b>
2.1 Objetivos Gerais	12
2.2 Objetivos Específicos	12
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>13</b>
3.1 Soldagem	13
3.2 Processo de Soldagem FCAW	13
3.2.1 Arames tubulares “Metal Cored”	14
3.2.2 Gás de Proteção Mistura de Argônio e Gás Carbônico.	15
3.3 Cálculo de Custo de Soldagem	17
3.3.1 Custo do Consumível	18
3.3.2 Custo da Energia Elétrica	20
3.3.3 Custo da Mão de Obra	20
<b>4 MATERIAIS E METODOS</b>	<b>21</b>
4.1 Materiais	21
4.1.1 Arame Tubular “ <i>Metal Cored</i> ”	21
4.1.2 Gás de Proteção 75% Argônio 25% Dióxido de Carbono	22
4.2 Equipamentos	22
4.3 Métodos	23
4.3.1 Variação dos parâmetros elétricos	24
4.3.2 Cálculo de custo do consumível	25
4.3.3 Cálculo de custo da energia elétrica	25
4.3.4 Cálculo de custo da mão de obra	26
4.3.5 Cálculo do custo total de solda	26
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>28</b>
5.1 Análise das variáveis dependentes dos parâmetros elétricos	28
5.1.1 Análise da Eficiência de Deposição	28
5.1.2 Análise da Taxa de Deposição	29
5.1.3 Análise da Tensão	30
5.2 Análise da variação do custo do metro de solda	31
5.2.1 Custo de cada parcela com a variação da corrente	32
5.2.2 Representatividade de cada parcela no custo total	33
<b>6 CONCLUSÃO</b>	<b>38</b>
<b>7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>39</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A busca por soluções mais econômicas e rápidas tem direcionado cada vez mais a competitividade no âmbito empresarial e industrial. É necessário, no entanto, que haja investimentos em novas técnicas, equipamentos e o aprimoramento das técnicas mais antigas para que se resulte em menos gasto de operação, e ainda, se aumente a produção. Muitas vezes, busca-se resoluções robustas e caras fora da indústria para suprir as necessidades do progresso industrial, porém, soluções de engenharia relativamente simples são fundamentais e oportunas para o barateamento dos custos, além de serem alternativas de otimização a serem feitas desde dentro do processo. No caso da soldagem não é diferente, o processo evoluiu, principalmente ao longo da última década, e desafios como esse são muito comuns na indústria atual.

Mensurar ao certo quando foi o início do uso da soldagem pelo homem não é possível, porém, ao procurarmos a fundo as origens de tal processo, encontramos alguns elementos que atestam a antiguidade dessa técnica. Acredita-se que um pingente de ouro, soldado, que está hoje no Museu do Louvre é datado provavelmente de 4000 a.C; os processos de brasagem que são usados desde a era do bronze e a soldagem por forjamento usada desde o descobrimento do ferro, são alguns exemplos do uso do processo de soldagem pelo homem no passado, VILLANI, MODENESI e BRACARENSE (2012). Apesar da antiguidade dessa técnica, é notório que o processo de soldagem se diversificou e evoluiu consideravelmente, possibilitando o desenvolvimento da indústria, construção civil, construção naval e diversos outros setores da sociedade somente durante o último século.

Em 1865 após muitos experimentos, a primeira patente de soldagem por arco elétrico foi obtida por um inglês chamado Wilde, que conseguiu unir com sucesso duas peças pequenas de ferro, após passar uma corrente elétrica entre elas e ter produzido uma solda por fusão. Duas décadas depois o processo de solda por arco-elétrico ainda era realizado com o eletrodo nu, o que tornava a solda de péssima qualidade devido à interação com os elementos  $O_2$  e  $N_2$  da atmosfera que formam óxidos e nitreto prejudiciais a solda. Somente no século XX, após a percepção da importância da proteção do cordão de solda, surgiram métodos para o recobrimento do eletrodo. O

processo de soldagem SMAW (Shielded Metal Arc Welding) é fruto da descoberta do eletrodo revestido em 1904 por Oscar Kjellberg, um engenheiro sueco, que buscou melhorar a qualidade das soldas em reparo em navios e caldeiras, o revestimento era composto de uma camada de cal, tinha a finalidade de facilitar a abertura do arco e aumentar a sua estabilidade, afirma a ESAB. O processo de soldagem evoluiu consideravelmente após a descoberta de revestimentos em eletrodos de solda com um material que se decompunha sob o calor do arco para formar uma proteção gasosa pareceu ser o melhor método para atingir esse objetivo.

O uso de proteção gasosa idealizou o surgimento do método GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) em 1948, que trouxe outras melhorias para a soldagem por arco-elétrico como o uso de corrente contínua e do uso de um consumível na forma de arame que não necessita constantemente de trocas. No método GMAW o metal de adição não entra em contato direto com a atmosfera pela presença de um fluxo de gás inerte ou ativo, sendo assim esse processo normalmente não necessita de revestimento em seu eletrodo. Porém, no início da década de 50 se desenvolveu a mesma técnica GMAW para a aplicação, também, de Arames Tubulares Fluxados o FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) unindo as principais características da soldagem por eletrodo revestido aliadas ao uso do fluxo gasoso. Tal processo ganhou larga aceitação para aplicações específicas e, ainda hoje, é amplamente usado na indústria, por isso, é fundamental que se busquem técnicas para sua otimização e rendimento financeiro.

A análise de custo é uma das competências que o engenheiro tem na indústria que visa minimizar os custos e o aumento da produção. Este é um caminho interessante no momento de buscar por soluções mais econômicas, visto que o engenheiro irá se basear no entendimento dos custos fixos e variáveis nos processos industriais e buscar, por meio da experimentação e modelação matemática, um ponto de maior economia para empresa. São muitas variáveis envolvidas nesses cálculos e um dos maiores desafios é entendê-las e quantificar aquelas de maior impacto e relevância para o processo. Nesse contexto, o presente trabalho irá abordar modelações matemáticas com a finalidade de entender o comportamento do custo de soldagem e suas parcelas com a variação da corrente de soldagem adotada.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivos Gerais**

Realizar simulações de custo de soldagem de uma junta de topo com chanfro em V empregando o processo de soldagem FCAW com arame tubular de diâmetro 1,2mm, classe E70T15-M21A4-CS2 e mistura gasosa de 75% Argônio e 25% de gás carbônico variando-se os parâmetros elétricos.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Para se atingir os objetivos propostos serão executadas as seguintes etapas:

- Levantamento das variáveis dependentes e independentes do processo de soldagem necessárias ao cálculo de custo.
- Simulações de custo variando a corrente de soldagem e os parâmetros dependentes desta.
- Discussão dos resultados obtidos.

## **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 Soldagem**

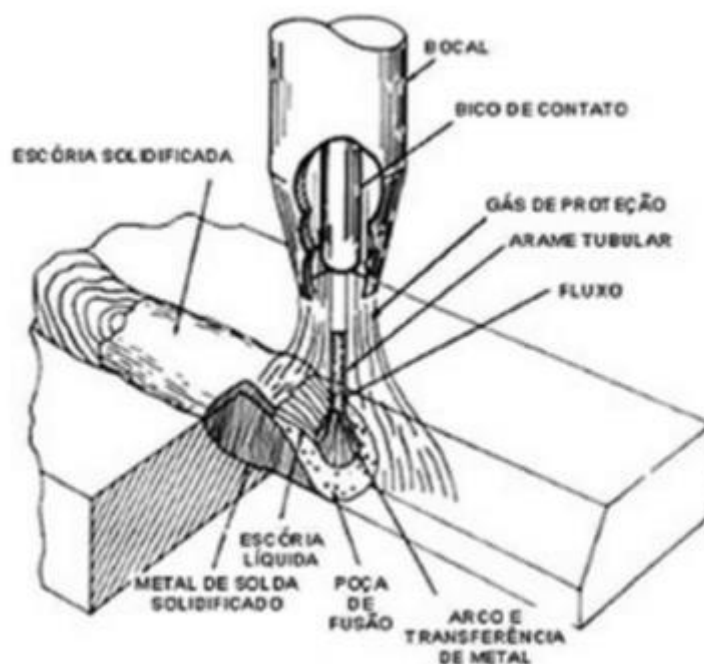
A Soldagem é um dos principais processos usados para a união de metais em escala industrial, sendo que sua importância vai desde a microeletrônica até a soldagem de reatores nucleares, portando, uma atuação bem variada (BRANDI, WAINER, 2004). Para cumprir uma gama de atuação tão ampla, são necessários diferentes tipos e técnicas de soldagem.

### **3.2 Processo de Soldagem FCAW**

De acordo com Bracarense et al: “A Soldagem a Arco com Arame Tubular (Flux-Cored Arc Welding) é um processo que produz a coalescência de metais pelo aquecimento destes por um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo tubular contínuo, consumível, e a peça de trabalho”. Está contido no eletrodo usado no processo FCAW um fluxo de soldagem que pode ou não ser suplementado de um fluxo de gás externo. O processo que é mostrado na Figura 1 ilustra o momento da saída do fluxo fusível contido no eletrodo, a poça de fusão produzida envolta por escória, gases resultantes da decomposição do fluxo e a presença de um fluxo externo no momento da soldagem.

A soldagem por arame tubular é normalmente um processo semiautomático e muito semelhante ao processo GMAW, pois apresenta os mesmos princípios de funcionamento, alta taxa de deposição e rendimento, alto fator de trabalho, os mesmos tipos de transferências por curto-circuito, aerossol (“spray”) e globular e o equipamento usado normalmente é o mesmo, MACHADO (1996). Ao mesmo tempo, há grandes semelhanças: o ponto de vista metalúrgico, na alta versatilidade, flexibilidade na mudança das composições químicas dos eletrodos e a facilidade de operação em campo, como no processo SMAW. Por essa semelhança com os dois processos, a técnica FCAW consegue operar basicamente com duas modificações. O processo chamado de arame autoprotetido (FCAW-S), que aproveita apenas do fluxo contido no próprio eletrodo para a estabilização e proteção do arco elétrico. Em segundo lugar, o processo de proteção complementada por uma nuvem de gás (FCAW-G), onde há a presença de um fluxo externo além daquele que está contido no eletrodo, segundo VILLANI, MODENESI e BRACARENSE (2012).

Figura 1: Esquemática do processo de Soldagem a Arco com Arame Tubular (FCAW)



Fonte: VILLANI, MODENESI e BRACARENSE, 2011

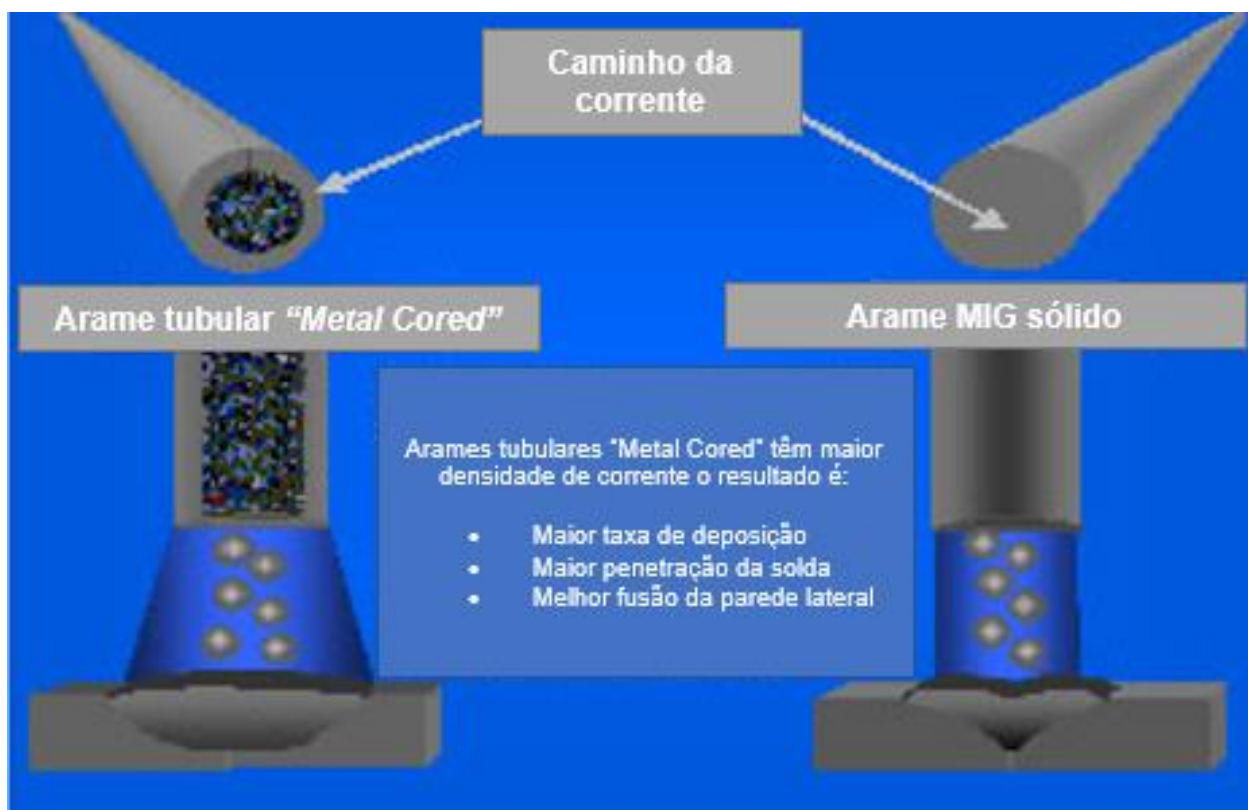
### 3.2.1 Arames tubulares “Metal Cored”

Uma das grandes vantagens do arame tubular é a capacidade de conduzir a corrente elétrica pela bainha metálica externa do arame, por isso, sua densidade de corrente é maior que processos com arames sólidos, o que melhora a taxa de deposição em níveis de correntes iguais. Porém, os componentes internos do arame tubular influenciam diretamente na eficiência do processo. No momento da soldagem, uma porcentagem do consumível é perdida por escória, respingos ou fumaça, e essa é uma das principais desvantagens dos arames tubulares, que, diferente dos fios sólidos, acabam perdendo grande parte do material contido no fluxo interno do arame durante a soldagem.

Na tentativa de minimizar as perdas do processo de soldagem por arame tubular e, conseqüentemente, aumentar a eficiência de soldagem, foram desenvolvidos os arames tubulares com fluxo de metal ou “*metal cored*”, como mostrado na Figura 2. Além dos componentes estabilizadores do arco, esses novos arames surgiram com a presença de componentes metálicos, como o níquel, cromo, molibdênio, pó de ferro e ligas de aço no fluxo interno do arame tubular, o que forneceu ao processo condições

para ter deposições com pouco ou nenhum ingrediente de formação de escória no enchimento interno do arame. Assim como o arame MIG maciço, as soldas feitas com arame tubular de metal terão apenas pequenas ilhas de silício dos produtos desoxidados que aparecem na superfície da solda, afirma a ESAB Knowledge Center (2002).

Figura 2: Vantagens do processo de soldagem FCAW "Metal Cored"



Fonte: Adaptado de ESAB Knowledge Center.

### 3.2.2 Gás de Proteção Mistura de Argônio e Gás Carbônico.

Dentre as principais funções dos gases de proteção, a principal delas é a proteção do metal da poça de fusão da oxidação e da inclusão de nitrogênio presentes na atmosfera. Além disso, o gás de proteção utilizado no momento da soldagem pode fornecer algumas outras vantagens e promover diferenças no perfil dos cordões soldados, como penetração, largura de solda e a estabilização do arco, que muitas vezes não é ideal utilizando-se gases em seu estado puro e, por isso, são necessárias composições em mistura para que o processo de soldagem aconteça da melhor forma. Outro ponto que deve ser observado é a ISO 14175, a norma se refere à

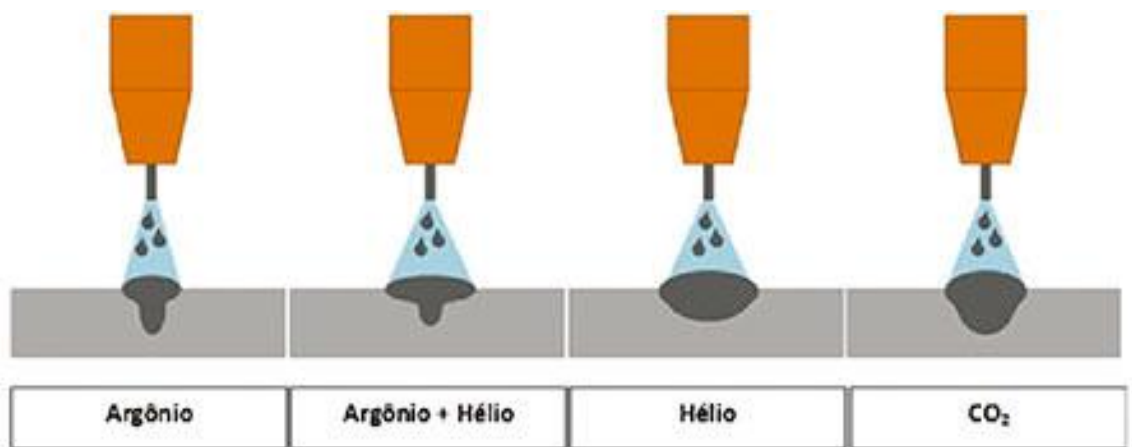


nomenclatura que define o gás de proteção que está presente na classe do consumível, e que deve ser usado durante a soldagem. Para melhor compreensão das misturas é necessário entender os dois principais tipos de gases utilizados, os inertes e os oxidantes.

O gás Argônio (Ar) é conhecido por ser um elemento monoatômico e por ser quimicamente inerte, o que torna possível o seu uso em uma vasta gama de metais reativos ou não, mas a vantagem do seu uso puro está principalmente na soldagem de não ferrosos, como afirma Bracarense et al. De acordo com matéria da Revista do Aço (2017), uma das características do gás argônio é sua alta condutividade térmica e seu baixo potencial de ionização, tais propriedades impactam em uma coluna estreita no arco elétrico com reduzida transferência de calor nas zonas externas do arco o que resulta em um perfil de solda profundo e estreito.

O Dióxido de Carbono ou  $\text{CO}_2$  é um gás inerte em temperatura ambiente, porém, nas altas temperaturas do arco elétrico o gás se dissocia em dois elementos CO e O, se tornando um gás ativo ou oxidante. Ao mesmo tempo que se dissocia, tal capacidade do gás permite com que ele se associe novamente à elementos de liga da poça de solda ou até mesmo que se recombine em  $\text{CO}_2$ . Também de acordo com a Revista do Aço (2007), tal característica provoca um baixo potencial de ionização e uma baixa condutividade térmica, tornando o perfil de solda equilibrado em profundidade e largura. O Dióxido de Carbono se torna interessante ainda na soldagem de metais ferrosos já que o custo de soldagem de aços carbono e baixa liga podem ser reduzidos utilizando-se o gás, segundo VILLANI, MODENESI e BRACARENSE (2012). Os perfis de solda podem ser observados na Figura 3.

Figura 3: Diferentes perfis de solda conforme o gás de proteção usado



Fonte: Revista do Aço, 2017

Segundo Vaydia (2002), no caso de uma mistura dos dois gases obtém-se características desejáveis que são particulares de cada gás. Se por um lado obtemos com o argônio profundidade e proteção gasosa da poça fundida, com o CO<sub>2</sub> obtemos economia, por ser um gás mais barato, e uma maior estabilidade do arco. Além disso, em determinadas proporções, ao se soldar aços carbono, a presença do gás oxidante, além de retirar elementos de ligas indesejáveis, podem promover, em algumas condições específicas, inclusões de óxidos que promovem a formação de uma fase ferrite acicular e podem melhorar aspectos da dureza do soldado.

### 3.3 Cálculo de Custo de Soldagem

Os fatores componentes do cálculo do custo de solda podem ou não estar diretamente relacionados aos parâmetros de soldagem, mas existem também fatores externos que influenciam diretamente no valor final. Para calcular e otimizar esse custo é necessário o entendimento do preço de cada uma dessas principais variáveis e o custo final pode ser calculado somando-se as diferentes parcelas do processo. Para isso, é necessário, também, parametrizar a unidade de custo que normalmente é calculada pelo valor do metro de solda.

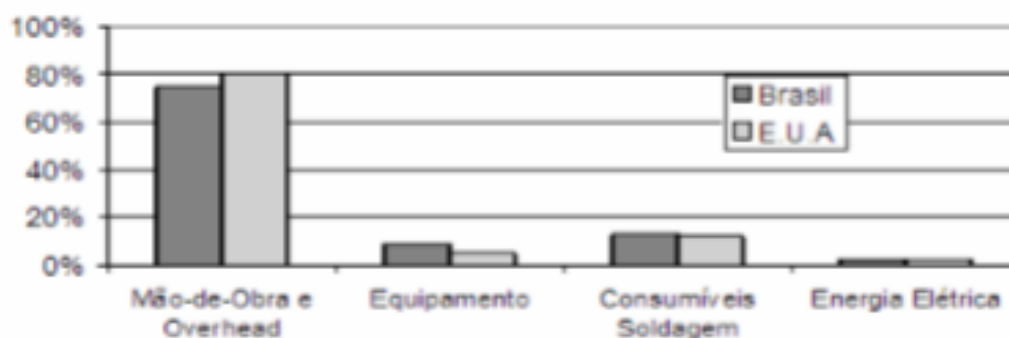
Os processos de soldagem ao arco elétrico têm em comum parâmetros associados à natureza da técnica como a corrente e tensão. Tais variáveis podem ser modificadas durante o processo em busca de diferentes formas de operação. Modificações na corrente usada para soldagem afetam diretamente a tensão do processo, também,

parâmetros como a taxa de deposição do metal e eficiência do arame. Enquanto o aumento da corrente usada no processo pode influenciar, também, em um maior custo da energia elétrica usada e no maior rendimento do eletrodo, a taxa de deposição influencia diretamente no tempo de soldagem e na diminuição do custo da produção operária. Por isso, é necessário compreender os impactos das variações desses parâmetros no custo final da solda.

### 3.3.1 Custo do Consumível

O custo do consumível utilizado é um dos fatores que mais impactam o valor total da solda, como mostrado na Figura 4, de acordo com PARANHOS (2005), os consumíveis representam de 12 a 13% do custo total da soldagem, sendo que esse custo é dividido entre o custo do metal depositado e o custo do gás de proteção utilizado.

Figura 4: Participação de cada parcela no custo final de soldagem



Fonte: PARANHOS (2005)

Para o metal consumível ( $CC_{metal}$ ), o cálculo do custo depende principalmente do preço do arame ( $PC_{metal}$ ) utilizado e da quantidade de metal gasto ( $QC$ ). No caso do gás de proteção ( $CC_{gás}$ ), o custo está diretamente associado à vazão do gás ( $VG$ ), o tempo de arco aberto ( $TAA$ ) e o preço do material ( $PC_{gás}$ ), como mostrado nas Equação 1 e Equação 2. O material consumível tanto do metal quanto do gás e a vazão utilizada são variáveis externas fixas, ou seja, não são afetadas pelos parâmetros elétricos. Por outro lado, a quantidade de metal gasto e o tempo de arco aberto são parâmetros que dependem do equipamento utilizado, eficiência do arame,

número de passes e o tipo de junta em que a solda é realizada, como mostrado no Welding Handbook da American Welding Society (2001).

$$CC_{metal} \left( \frac{R\$}{m} \right) = PC_{metal} \left( \frac{R\$}{kg} \right) \times QC \left( \frac{kg}{m} \right) \quad (1)$$

$$CC_{gás} \left( \frac{R\$}{m} \right) = PC_{gás} \left( \frac{R\$}{l} \right) \times VG \left( \frac{l}{min} \right) \times TAA \left( \frac{h}{m} \right) \times 60 \quad (2)$$

A quantidade de metal gasto ( $QC$ ) é fruto do produto entre o peso do metal depositado ( $PMD$ ), que varia conforme a junta de solda escolhida, dividido pela eficiência de deposição ( $ED$ ), que varia de acordo com o arame escolhido e variações dos parâmetros elétricos. O cálculo da quantidade de consumível metálico gasto é mostrado na Equação 3.

$$QC \left( \frac{kg}{m} \right) = \frac{PMD \left( \frac{kg}{m} \right)}{ED(\%)} \quad (3)$$

O tempo de arco aberto ( $TAA$ ) é uma variável dependente da taxa de deposição que, por sua vez, está diretamente ligada às características do consumível utilizado no processo e varia de acordo com a corrente e tensão aplicadas. Como mostrado na Equação 4, o tempo de arco aberto pode ser calculado dividindo-se a  $PMD$  pelo produto entre a taxa de deposição ( $TD$ ), e o fator de ocupação do equipamento ( $FO$ )

$$TAA \left( \frac{h}{m} \right) = \frac{PMD \left( \frac{kg}{m} \right)}{TD \left( \frac{kg}{h} \right) \times FO(\%) \times ED(\%)} \quad (4)$$

### 3.3.2 Custo da Energia Elétrica

Outro fator que influencia diretamente o custo total da solda é o custo da energia elétrica. No Brasil, o preço pago pela energia varia muito de acordo com a região, gasto mensal, tipo de indústria, horário de uso entre outros. São muitos fatores que influenciam esse custo, porém, grande parte desses preços são tabelados e são disponibilizados pelas companhias de eletricidade de cada região no Brasil. De acordo com o Welding Handbook (2001), e mostrado na Equação 5, o cálculo do custo da energia elétrica está diretamente ligado à intensidade de corrente usada ( $I$ ), a tensão ( $V$ ), o preço da energia em kilowatt hora ( $W$ ), o peso do metal depositado ( $PMD$ ) e inversamente proporcional à taxa de deposição ( $TD$ ), e a eficiência de deposição ( $ED$ ) e o fator de ocupação do processo.

$$CC_{energia} \left( \frac{R\$}{m} \right) = \frac{W \left( \frac{R\$}{kWh} \right) \times I(A) \times V(V) \times PMD \left( \frac{kg}{m} \right)}{1000 \times TD \left( \frac{kg}{h} \right) \times ED(\%) \times FO(\%)} \quad (5)$$

### 3.3.3 Custo da Mão de Obra

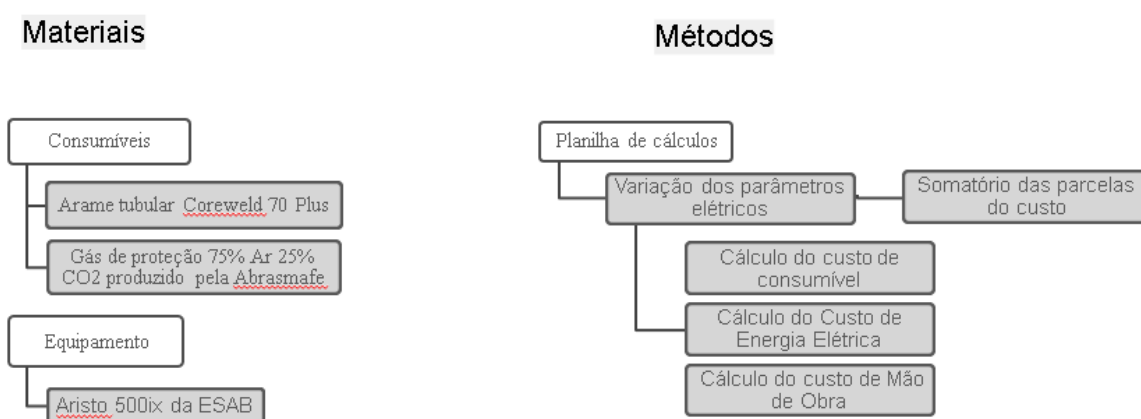
De acordo com PARANHOS (2005) o custo de mão de obra é o que mais afeta o preço final da solda, sendo que esse valor pode representar até 80% do custo total. Para calcular esse custo é necessário que se tome em consideração os trabalhadores envolvidos no processo e o seu valor de mão de obra ( $VMO$ ), que é calculado em cima da média ponderada dos diferentes salários dos empregados envolvidos no processo, por hora. Assim como os custos relatados anteriormente, o preço da mão de obra também é influenciado pelo tempo de soldagem ou tempo de arco aberto ( $TAA$ ), parâmetro que está associado à intensidade de corrente usada no processo. O cálculo do custo da mão de obra pode ser observado pela Equação 6.

$$CC_{mão\ de\ obra} \left( \frac{R\$}{m} \right) = TAA \left( \frac{h}{m} \right) \times VMO \left( \frac{R\$}{h} \right) \quad (6)$$

## 4 MATERIAIS E METODOS

O esquema apresentado na Figura 5, mostra os materiais utilizados no presente trabalho, como foram realizadas as definições e como se estruturou a metodologia adotada para os cálculos.

Figura 5: Esquema de organização dos materiais e métodos



Fonte: Próprio Autor

### 4.1 Materiais

Os materiais utilizados nesse trabalho serão os consumíveis inerentes do processo FCAW, sendo eles o Arame tubular com fluxo “*Metal Cored*” e o gás de proteção, uma mistura de 75% gás argônio e 20% gás dióxido de carbono. Neste tópico será definido também o equipamento a ser usados e seu fator de operação associado, bem como a metodologia usada para o cálculo dos custos envolvidos no processo de soldagem.

#### 4.1.1 Arame Tubular “*Metal Cored*”

O consumível metálico escolhido foi o arame tubular metal cored Coreweld 70 Plus, classificação AWS/ASME SFA 5.36 : E70T15-M21A4-CS2 da ESAB. O diâmetro do consumível utilizado foi o de 1,2mm. As especificações de taxa de deposição, corrente e eficiências do arame usadas nos cálculos do trabalho podem ser encontrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Deposição e eficiência do consumível diante da variação dos parâmetros elétricos

Diâmetro	Corrente	Taxa de Deposição	Eficiência
1.20 mm	150 A	1.9 kg/h	84 %
1.20 mm	200 A	3.51 kg/h	93 %
1.20 mm	250 A	4.95 kg/h	95 %
1.20 mm	300 A	6.82 kg/h	97 %
1.20 mm	330 A	7.81 kg/h	98 %

Fonte: Arames Tubulares Metal Cored: Coreweld 70 Plus – ESAB

Em pesquisa a respeito do preço do consumível foram encontrados alguns preços que variavam entre si em até 10 dólares. Como o objetivo do trabalho é a busca de economia, o preço escolhido ( $PC_{metal}$ ) foi o menor, de 80,20 dólares ou R\$440,30 o rolo de 15kg do arame tubular, ou ainda, 29,35 R\$/kg de arame e que foi encontrado no Ebay.

#### 4.1.2 Gás de Proteção 75% Argônio - 25% Dióxido de Carbono

Para a proteção gasosa foi escolhida uma mistura de Argônio e Dióxido de Carbono na proporção de 3 para 1, essa mistura é a indicada a ser usada para soldagens usando eletrodos tubulares de classe E70T15-M21A4-CS2. A combinação dos gases foi encontrada em diferentes preços e em cilindros, porém, para esse trabalho e pensando no processo industrial, foi escolhido para ser usado o preço da recarga do cilindro, e o preço desse equipamento foi ignorado no processo. O preço adotado para o trabalho foi o da recarga de gás da mistura Argônio Dióxido de Carbono ( $PC_{gás}$ ) para Solda MIG/MAG C-25 50 l / 10m<sup>3</sup> nas proporções 75% Ar 25% CO<sub>2</sub> produzido pela Abrasmafe com o valor de R\$210,00, o que é o mesmo que 0,021 R\$/l. A vazão do gás definida para os cálculos foi de 18 l/min.

## 4.2 Equipamentos

O equipamento a ser utilizado será a fonte de soldagem pulsada de multiprocessos Aristo 500ix da ESAB. As especificações do equipamento estão na Figura 6. O fator de ocupação definido foi de 60%.

Figura 6: Especificações da fonte de soldagem

<b>Especificações</b>	
Tensão de alimentação	3Ø – 380-460 V (±10%)
Frequência de rede	50/60 Hz
Cargas autorizadas - MIG/MAG (GMAW) (40 °C)	500 A / 39 V @ 60% 400 A / 34 V @ 100%
Cargas autorizadas - Eletrodos revestidos (SMAW) (40 °C)	500 A / 40 V @ 60% 400 A / 36 V @ 100%
Cargas autorizadas - TIG (GTAW) (40 °C)	500 A / 30 V @ 60% 400 A / 26 V @ 100%
Faixa de corrente - MIG/MAG (GMAW)	16 A / 14,8 V - 500 A / 39 V
Faixa de corrente - Eletrodos revestidos (SMAW)	16 A / 20,6 V - 500 A / 40 V
Faixa de corrente - TIG (GTAW)	5 A / 10,2 V - 500 A / 30 V
Eficiência em máxima corrente	88 %
Fator de potência à corrente máxima	0.91
Tensão de circuito aberto	58 V
Temperatura de operação	-20 °C a 40 °C
Dimensões (L x C x A)	325 x 712 x 637 mm
Peso	58,5 kg
Classe de proteção	IP23
Classe de aplicação	S
Classe de isolamento	H
Normas técnicas	CE

Fonte: Aristo 500ix – ESAB

### 4.3 Métodos

Para calcular os custos de solda, foram considerados apenas os custos de consumível, mão de obra e energia elétrica. Custos envolvidos no processo, como os custos fixos da empresa, manutenção de equipamento e impostos, entre outros, foram desconsiderados por tratar-se de análises específicas e que não são afetados diretamente pelos parâmetros elétricos ou não têm relevância para o valor final do custo de solda.

O trabalho consistiu em variar os parâmetros elétricos e avaliar as modificações que essas alterações causaram no custo final da soldagem. Todas as variáveis envolvidas no processo foram colocadas em uma planilha no Excel, Figura 7, e a partir daí os custos foram calculados e as análises foram realizadas.



Figura 7: Planilha usada para os cálculos de custo envolvidos no processo de soldagem

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data and formulas:

**Row 1:**  $C(\text{metro de solda}) = C(\text{gás}) + C(\text{metal depositado}) + C(\text{energia}) + C(\text{mão de obra})$

**Row 4:** **Cálculo do volume para um metro de junta**

Ângulo	Altura[mm]	Comprimento[mm]	Abertura menor[mm]	Abertura Maior [mm]	Área maior [mm <sup>2</sup> ]	Área menor
	25	15,88	1000	5	16,02093922	16020,93922
V[mm <sup>3</sup> ]						
	158646,821					

**Row 11:** **Cálculo do custo do metal depositado considerando as diferentes eficiências em cada corrente usada**

PMD[kg/m]	V[cm <sup>3</sup> ](junta)	CC[15kg](arame) em dólares	CC[RS/kg](arame)
	7,8	158,646821	1,237445204
			80,2
			29,3532

**Row 18-20:** Efficiency table

	(150A)	(200A)	(250A)	(300A)	(330A)
Eficiência					
	84%		93%		97%

**Row 21:** **C [RRS/m] (metal depositado)**

C [RRS/m] (metal depositado)	C [RRS/m] (metal depositado)	C [RRS/m] (metal depositado)	C [RRS/m] (metal depositado)	C [RRS/m] (metal depositado)
49,24163876	39,05696404	38,23471216	37,44636758	37,06426179

Fonte: Próprio autor

#### 4.3.1 Variação dos parâmetros elétricos

Os valores de corrente utilizados, bem como os valores de eficiência de deposição e da taxa de deposição foram disponibilizados na documentação do arame tubular Coreweld 70 Plus, enquanto os valores de tensão foram calculados a partir das especificações da fonte de soldagem e de acordo com a corrente usada no momento da simulação. Os valores de corrente e sua tensão associada estão presentes na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores de tensão associados à corrente utilizada

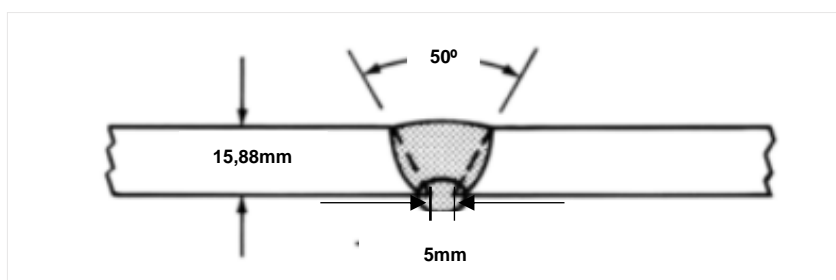
Corrente	Tensão
150 A	26 V
200 A	27 V
250 A	29 V
300 A	31 V
330 A	32 V

Fonte: Arames Tubulares Metal Cored: Coreweld 70 Plus – ESAB

#### 4.3.2 Cálculo de custo do consumível

Para o cálculo do custo de consumível foi necessário primeiramente definir o volume da junta para que fosse possível inferir o peso do metal depositado no preenchimento de um metro de solda. A junta escolhida foi uma junta de topo em “V”, ângulo de topo de 50°, espessura de 15,88mm, abertura de 5mm, mostrada na Figura 8. Para simplificação dos cálculos, o volume da junta ( $V_{Junta}$ ) foi considerado igual ao volume de metal depositado ( $V_{metal}$ ). Para o cálculo do peso do metal depositado ( $PMD$ ), a densidade estabelecida para o metal foi de 7,8g/cm<sup>3</sup>, resultando um peso total por metro de solda de 1,53 kg.

Figura 8: Junta de topo em “V”



Fonte: ESAB - Welding Handbook Adaptada

#### 4.3.3 Cálculo de custo da energia elétrica

Para o cálculo da energia elétrica foram considerados apenas o valor do custo do kWh, os demais valores como manutenção de rede elétrica, vistoria, custos administrativos entre outros foram desconsiderados. Foram definidos previamente o local de instalação da fábrica, o tipo de indústria e sua modalidade tarifária, bem como o horário de funcionamento para simplificação dos cálculos. Levou-se em consideração então uma operação que funcionasse apenas em horário comercial, uma modalidade tarifária verde, subgrupo A4 de uma empresa com operação em Minas Gerais sob os serviços da CEMIG. O valor tabelado da energia elétrica ( $W$ ) para esse tipo de empresa nessas condições é de 0,35542 R\$ /kWh, de acordo com os Valores e Tarifas da CEMIG.

#### 4.3.4 Cálculo de custo da mão de obra

O cálculo da mão de obra levou em consideração somente o valor da mão de obra dos soldadores, ou seja, o custo da hora de trabalho dos supervisores, gerentes e custos administrativo, os “*Overhead*”, foram desconsiderados por serem valores fixos e que não variam de acordo com a alteração dos parâmetros elétricos. Sendo assim, o VMO que é o cálculo da média ponderada do custo por hora de cada um desses trabalhadores foi simplificado em um valor único sem a necessidade de se fazer uma média dos valores. O valor adotado no mercado para o salário bruto de um soldador é em média de R\$ 2400,00 com base em pesquisas no site Salário.

Foi levado em consideração encargos trabalhistas da empresa de 82% do valor do salário do funcionário, valor médio encontrado no site contábil Sólides, uma jornada de trabalho de 44h semanais e um mês comercial de 4 semanas. Com isso, foi adotado um VMO de 24,82 R\$/h.

#### 4.3.5 Cálculo do custo total de solda

Na Tabela 3 pode-se observar todos os valores fixos e as variáveis que são modificadas de acordo com as modificações dos parâmetros elétricos, utilizados nas parcelas do cálculo de custo da solda.

Tabela 3 – Parâmetros simplificados utilizados para o cálculo do custo total

Parâmetro	Valor
$V_{Junta}$ ou $V_{metal}$	196,99 $cm^3$
$\rho_{metal}$	7,80 $\frac{g}{cm^3}$
$PMD$	1,54 $\frac{kg}{m}$
$FO$	60%
$VG$	18,00 $\frac{l}{min}$
$PC_{metal}$	29,35 $\frac{R\$}{kg}$
$PC_{gás}$	0,02 $\frac{R\$}{l}$
$W$	0,36 $\frac{R\$}{kWh}$
$VMO$	24,82 $\frac{R\$}{h}$
$I$	150   200   250   300 e 330A
$V$	26   27   29   31 e 32V
$TD$	1,9   3,51   4,95   6,82 e 7,81 $\frac{kg}{h}$
$ED$	84   93   95   97 e 98%

Fonte: Próprio Autor

Foi realizado a soma entre as Equações 1, 2, 5 e 6, e para melhor compreensão das análises as equações 1 e 2 foram unidas em uma ( $CC_{consumível}$ ), como representado na Equação 7.

$$CC_{Solda} \left( \frac{R\$}{m} \right) = CC_{consumível} + CC_{energia} + CC_{mão\ de\ obra} \quad (7)$$

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a substituição das partes fixas predefinidas, mostradas na Tabela 3, nas respectivas parcelas do cálculo, a equação do custo tomou forma final com as três parcelas separadas, mantendo-se os parâmetros dependentes da corrente e tensão, como mostrado na Equação 8.

$$CC_{Solda} \left( \frac{R\$}{m} \right) = \left( \frac{1}{ED} \right) \left[ \left( 45,10 + \frac{58,08}{TD} \right) + \frac{63,56}{TD} + \frac{0,00091 \times I \times V}{TD} \right] \quad (8)$$

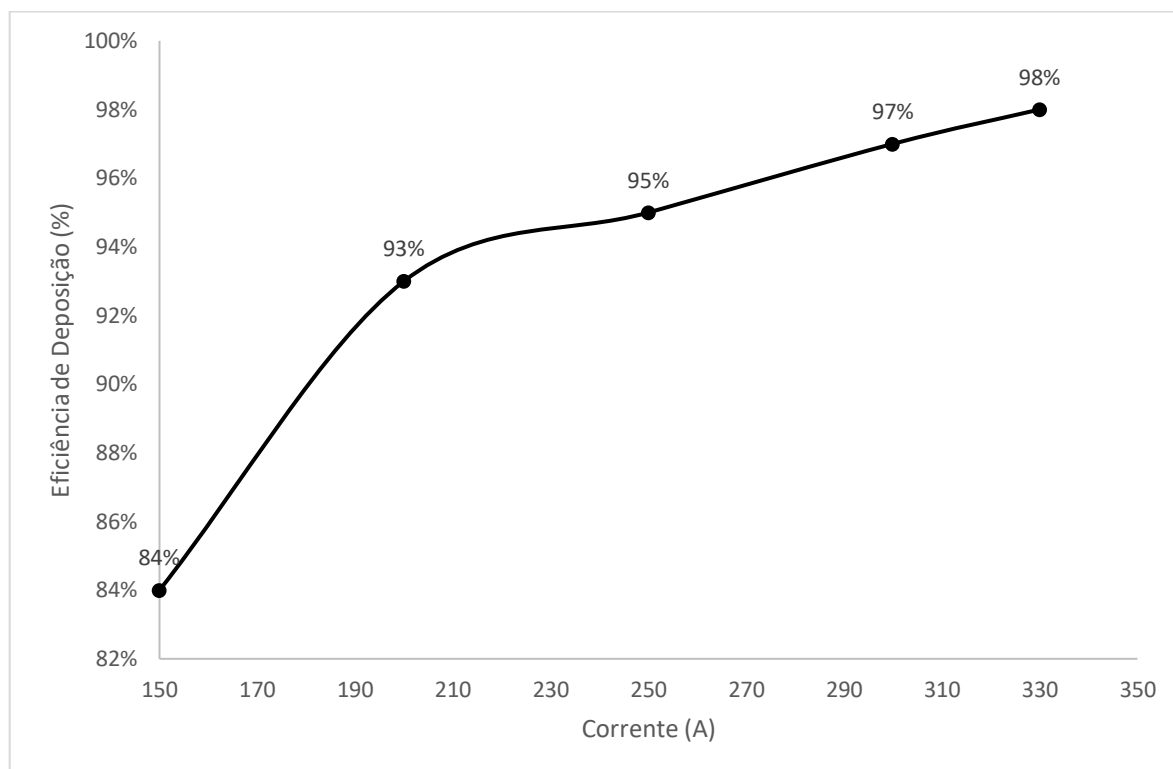
### 5.1 Análise das variáveis dependentes dos parâmetros elétricos

Os valores de Eficiência de Soldagem, Taxa de Deposição e Tensão são variáveis dependentes do cálculo. Para compreender as variações no preço do metro de solda foi necessário analisar as variações desses parâmetros nos diferentes valores de Corrente utilizados.

#### 5.1.1 Análise da Eficiência de Deposição

Como confirmado na bibliografia, uma das desvantagens do arame tubular é a eficiência de deposição, no caso do arame tubular com fluxo metálico utilizado, algumas particularidades foram encontradas. Ao analisar a eficiência da produção em diferentes correntes usadas, foi percebido que na corrente de 150 A a eficiência era a menor e seu valor de 84%. Das intensidades de 150A e 200 A é possível ver um salto de produtividade, e onde a eficiência de deposição aumenta em 9%. Com o aumento da intensidade da corrente de 200, 250, 300 e 330 A é percebido um aumento gradual e linear a cada mudança do parâmetro como é visto na Figura 9.

Figura 9: Variação da Eficiência de deposição com o aumento da corrente



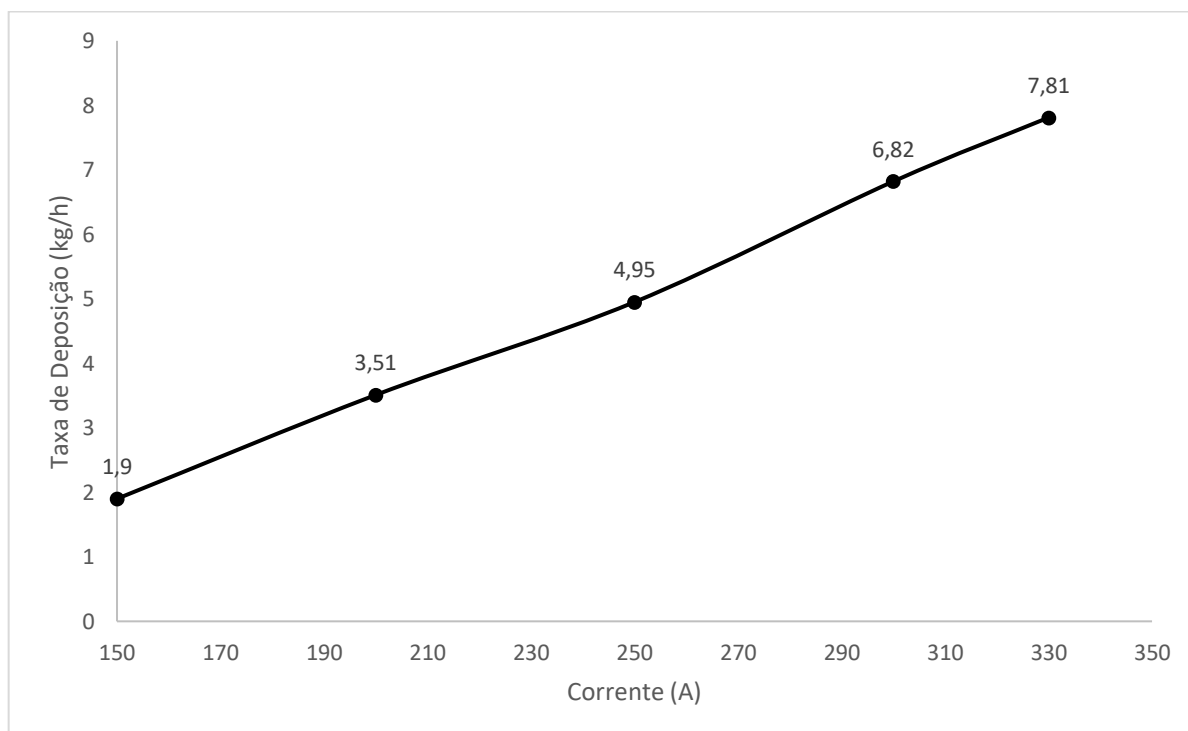
Fonte: Próprio autor

A eficiência de soldagem é um dos parâmetros que está diretamente relacionado com a quantidade de consumível gasta que por sua vez é uma das parcelas no cálculo do custo do metal depositado. Tem-se então que quanto maior a corrente empregada maior a eficiência de deposição e menor a quantidade de consumível perdido, ou seja, menor o custo gasto em consumível metálico.

#### 5.1.2 Análise da Taxa de Deposição

Ao analisarmos o Figura 10, vemos a variação da taxa de deposição que apresenta um aumento linear desde o início das simulações. Pode-se observar que a taxa de deposição da primeira corrente usada de 150 A em comparação com a última de 330 A, apresenta uma diferença de mais de quatro vezes o valor inicial. Sendo a taxa de deposição uma das variáveis que afeta todas as partes do cálculo do custo de solda de forma inversamente proporcional, e que o aumento da corrente impacta positivamente no aumento dessa taxa, é possível inferir que o seu aumento provoca, também, uma diminuição do custo final de soldagem.

Figura 10: Variação da Taxa de Deposição com o aumento da corrente

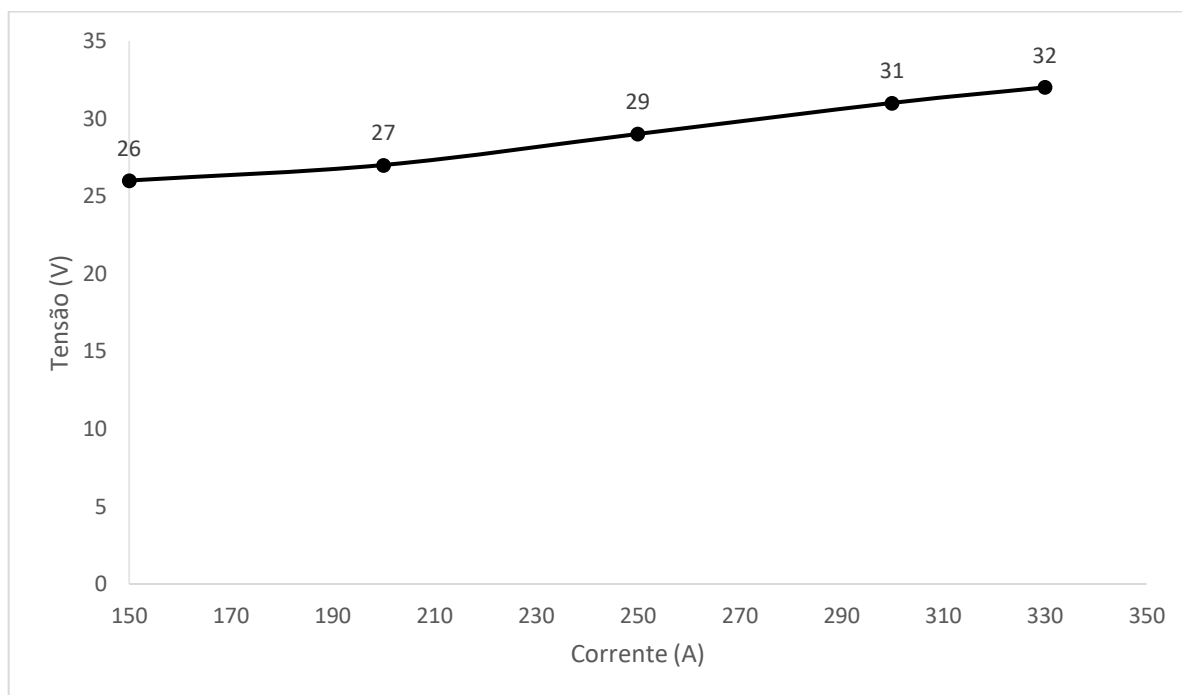


Fonte: Próprio autor

### 5.1.3 Análise da Tensão

A tensão é um parâmetro que afeta diretamente o custo da energia elétrica. Observa-se também nesse caso um aumento linear na Figura 11, porém, com pequena variação diante das mudanças na corrente utilizada. Diferente dos outros parâmetros analisados, a corrente e a tensão são variáveis que afetam diretamente a parcela do custo da eletricidade, o que significa que o aumento desses parâmetros provoca também um aumento dessa parcela no custo final de solda.

Figura 11: Variação da Tensão com o aumento da corrente



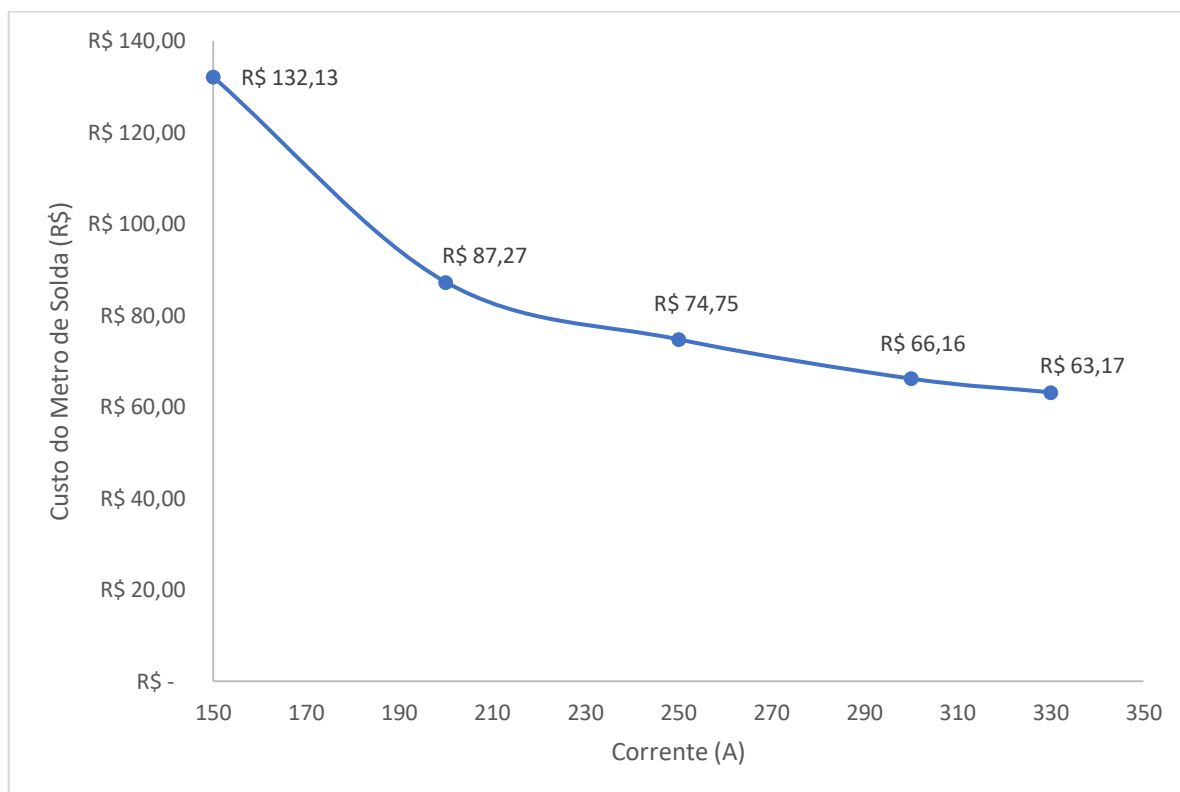
Fonte: Próprio autor

## 5.2 Análise da variação do custo do metro de solda

Observa-se que com o aumento da intensidade de corrente e, conseqüentemente, dos parâmetros dependentes desta, obtém-se um menor custo de soldagem total que diminui de forma exponencial do valor de 132,13 até 63,17 reais, uma diminuição de 52,19%. O perfil de custo obtido após variação da corrente de soldagem está mostrado na Figura 12.



Figura 12: Custo do metro de solda de acordo com a corrente usada



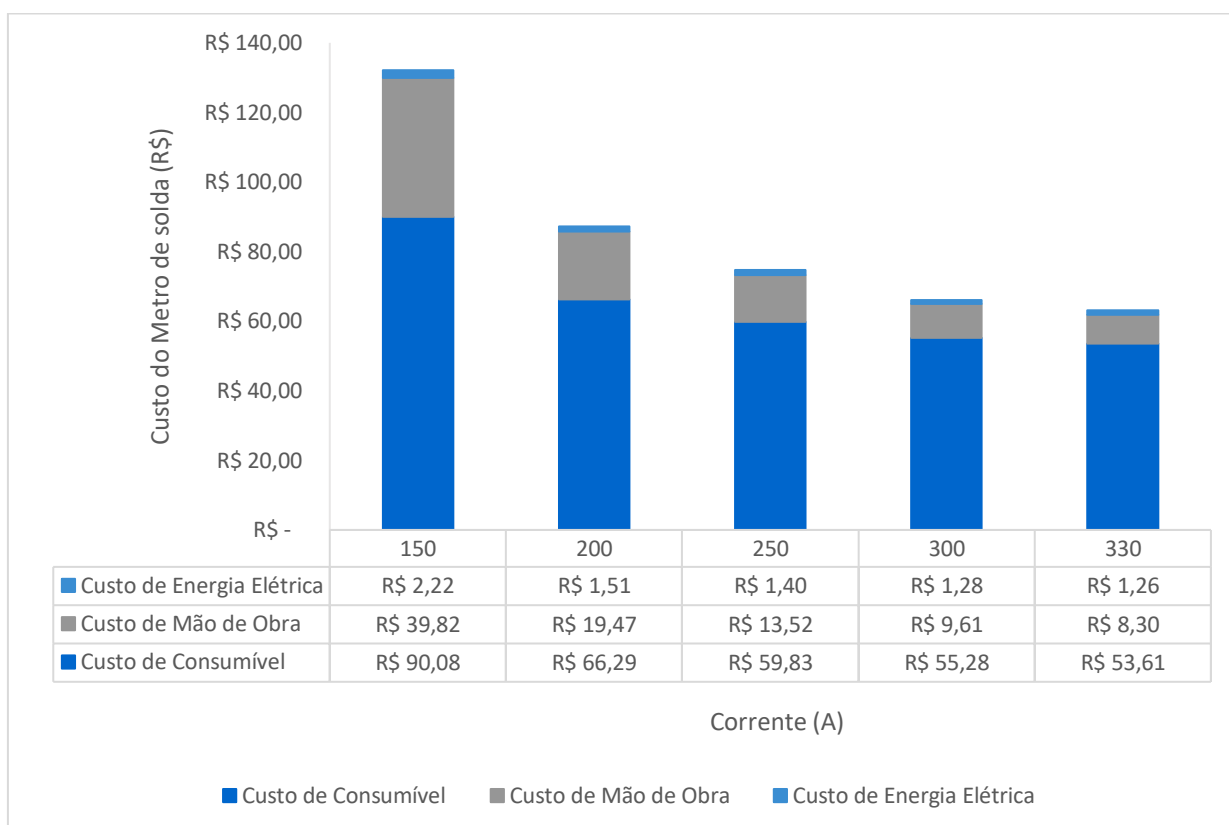
Fonte: Próprio autor

É percebido, no entanto, que como analisado anteriormente, o aumento dos parâmetros elétricos podem impactar tanto positivamente quanto negativamente no custo final da solda.

### 5.2.1 Custo de cada parcela com a variação da corrente

Para explicar o perfil apresentado é necessário entender o impacto de cada parcela no custo final da soldagem. A Figura 13 apresenta essa variação do preço de cada parcela e mostra que todas elas de alguma forma sofreram reduções conforme aconteceu o aumento da corrente empregada, umas mais significativas que outras conforme os parâmetros de dependência. É notável pelo mesmo gráfico que a representatividade do preço do consumível é o que mais destaca no valor total, seguido do custo da mão de obra e o custo da energia elétrica.

Figura 13: Custo das parcelas envolvidas no cálculo total de custo da solda

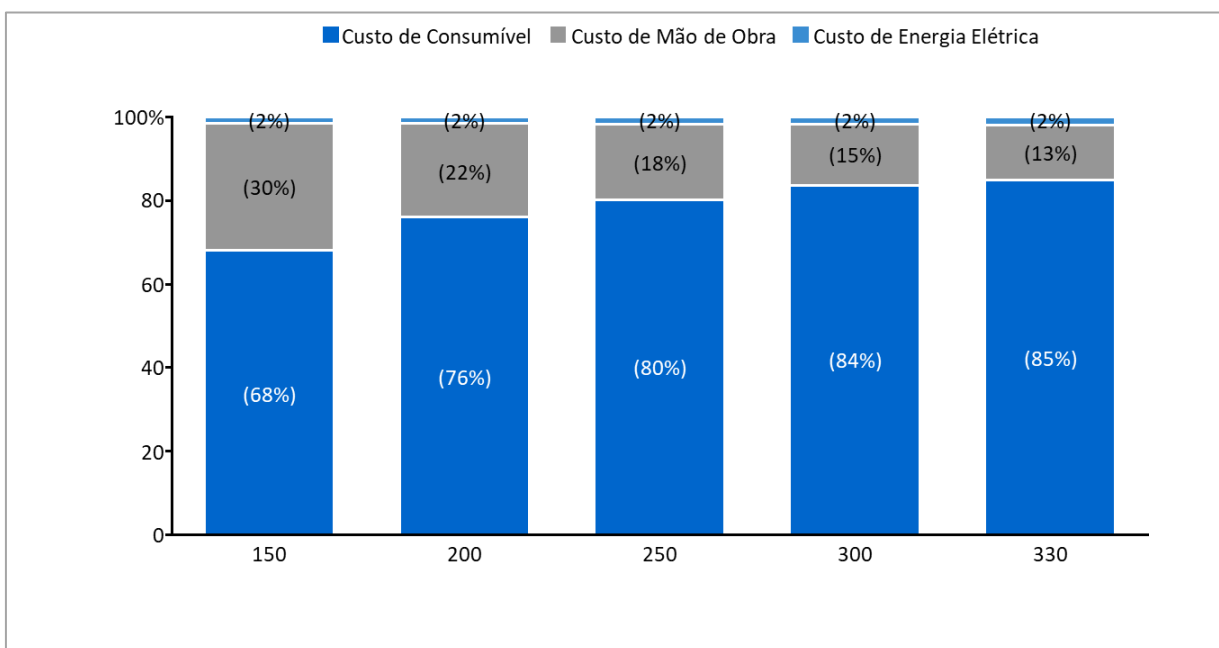


Fonte: Próprio autor

### 5.2.2 Representatividade de cada parcela no custo total

Ao analisar a Figura 14 percebe-se que nas condições apresentadas o consumível gasto no processo foi aquele que representou maior débito percentual para a operação, chegando a representar até 85% do custo final. Vê-se também que, apesar de ter uma menor representatividade no total, o custo de mão de obra foi o que alcançou maior variação percentual com as mudanças nos parâmetros elétricos começando com 30% do valor total na corrente de 150 A e representando 18% do custo total da solda em uma corrente de 330 A. Observa-se também pelo gráfico que para as duas últimas correntes apresentadas o valor já aparece bem estabilizado em 15 – 13% para o custo da mão de obra e 84 – 85% para o custo do consumível gasto.

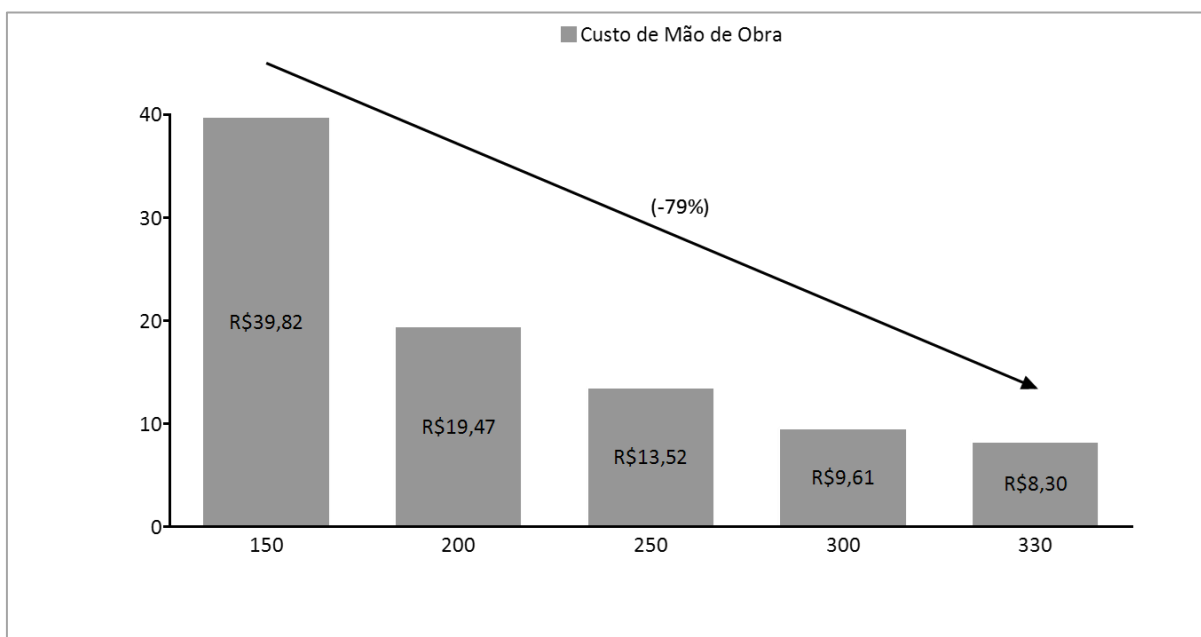
Figura 14: Representatividade percentual de cada parcela do custo da solda



Fonte: Próprio autor

Ao analisar cada parte do cálculo separadamente, observa-se a primeira corrente de 150 A e a última de 330 A, vê-se a economia gerada em cada uma delas. No caso do custo da mão de obra observa-se uma diminuição de 79%, Figura 15, no custo final, a maior entre os custos analisados. Tal economia foi maior devido ao caráter inversamente proporcional da taxa de deposição no cálculo dessa parcela, que aumentou em mais de 4 vezes o valor inicial, consequentemente, ocasionou a diminuição proporcional do custo da mão de obra.

Figura 15: Economia no Custo da Mão de Obra

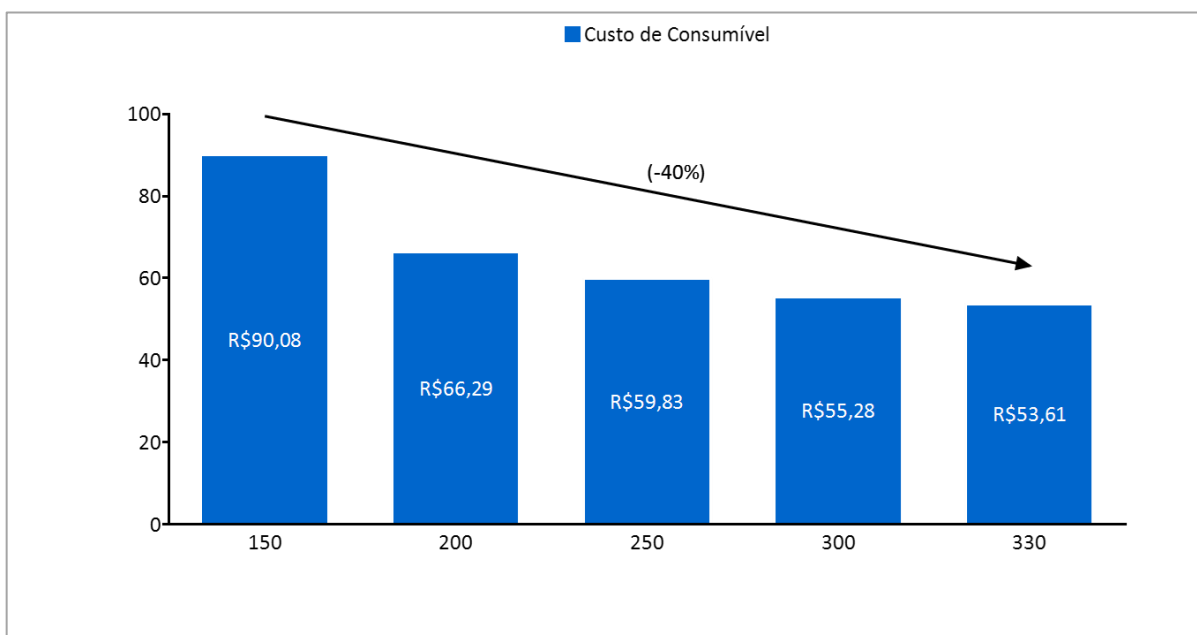


Fonte: Próprio autor

Diferente da mão de obra, o cálculo do custo do consumível é realizado em duas partes: o custo do gás consumível, assim como o custo laboral, inversamente ligado somente à taxa de deposição e o custo do metal consumível que está ligado apenas à eficiência de deposição. Sendo assim, enquanto a queda do custo do consumível gasoso é linear, como o crescimento da taxa de deposição, no caso do consumível metálico essa queda é inicialmente expressiva, e após, continua uma queda linearmente controlada, diferente de como se comporta a eficiência de deposição. A soma dos custos e a variação de acordo com a modificação da corrente resulta em uma economia final de 40% como mostrado na Figura 16.

De acordo com a Bibliografia pesquisada, PARANHOS (2005), afirma que o custo da mão de obra representa até 80% do valor total do custo de solda. Embora esse valor não esteja de acordo com o encontrado na participação do custo total, com os materiais e metodologia usados, a representatividade da queda dessa parcela com aumento da corrente se destaca. Tal fato torna interessante a utilização do método para a redução de custos na indústria, principalmente em casos em que o custo dessa parcela seja mais expressivo.

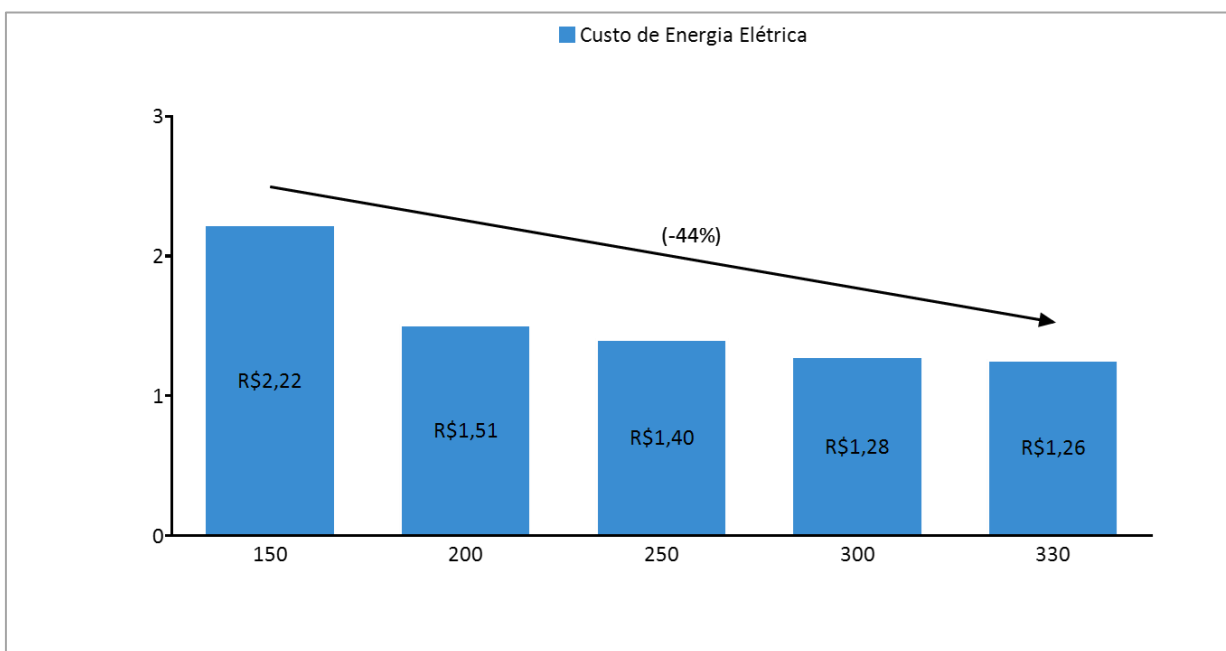
Figura 16: Economia no Custo do Consumível



Fonte: Próprio autor

Por fim, o custo da Energia elétrica foi o que sofreu menor diminuição, isso acontece porque nas partes do cálculo desse custo, existe uma parcela que impacta negativamente na economia (corrente e tensão) e por outro lado temos a taxa de deposição que afeta positivamente no custo final. Foi observado que o aumento da taxa de deposição impactou em maior escala que o aumento dos parâmetros elétricos, o que fez com que o preço da energia diminuísse. Como mostrado na Figura 17, tal diminuição de 44%, que apesar do balanceamento dessas variáveis do custo, ainda foi uma economia total maior que a de consumível.

Figura 17: Economia no Custo do Consumível



Fonte: Próprio autor

## 6 CONCLUSÃO

Com o presente trabalho foi possível entender o comportamento do custo total do metro de solda de acordo com as variações dos parâmetros elétricos. Foi possível enxergar a correlação entre os valores de Tensão, Eficiência de deposição e Taxa de deposição com Corrente usada na soldagem e chegar em uma fórmula simplificada dependente apenas desses parâmetros para o cálculo do custo final do metro de solda.

Após a experimentação e análise foi possível concluir que, para as condições apresentadas, o aumento da intensidade dos parâmetros elétricos reflete diretamente na economia final do metro de solda, economia essa que pode chegar a 52,19%, mais da metade do custo inicial apresentado. Foi percebido também que a variável que tem maior impacto nesse tipo de solda foi a taxa de deposição, já que esse valor é inversamente proporcional à todas as parcelas do custo. Para a menor corrente usada a eficiência de deposição, sendo 9% menor que para as outras correntes usadas, tem muito impacto no aumento do custo, impacto esse que se torna menor de acordo com o aumento da corrente utilizada.

No caso da economia gerada pela variação do custo, observa-se uma diminuição de 79% do custo de mão de obra com o aumento da intensidade de corrente. De acordo com a biografia, essa parcela representa um custo é de cerca de 80% do custo total de solda, visto isso, podemos concluir que a variação dos parâmetros elétricos pode ser representativa para redução principalmente dessa parte do cálculo.

No entanto, conclui-se também com os cálculos que o impacto do custo do material foi a parcela mais representativa no custo total para os materiais e metodologia adotada. Tal valor diverge da biografia que diz a respeito de uma representatividade de 13 a 14% enquanto a participação calculada nesse trabalho variou de 79 a 90%. Sendo assim, se torna necessário entender a diferença dos custos de material em compras de quantidades industriais e no valor comercial do produto em valor individual, bem como a particularidade dos materiais utilizados para esse trabalho para entender tal diferença.

## 7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14175:2008: Welding consumables — Gases and gas mixtures for fusion welding and allied processes.** Rio de Janeiro, 2008.

AMERICAN WELDING SOCIETY. **Welding handbook: welding science and technology.** 9 ed. Miami: AWS, 2001.

BONISZEWSKI, T., **Self-Shielded Arc Welding, Abington Publishing, 1992**

BRACARENSE, A. Q., MODONESI, P. J., MARQUES, P. V. **Soldagem – Fundamentos e tecnologia.** Belo Horizonte: Editora UFMG, 2012.

BRITO, J. D. e PARANHOS, R. (2005). **Como Determinar o Custo da Soldagem.** Campos dos Goytacazes, RJ. Ronaldo Paranhos. p. 1 – 42

Como fazer o cálculo do custo do funcionário? Sólides, 2020. Disponível em:<<https://blog.solides.com.br/como-fazer-o-calculo-do-custo-do-funcionario/>>. Acesso em: 27 mar. 2021

ESAB. **Advantages and Disadvantages of Metal Cored Wires:** KNOWLEDGE CENTER, 2014. Disponível em:<<http://www.esabna.com/us/en/education/blog/advantages-anddisadvantages-of-metal-cored>>. Acesso em: 19 mar. 2021.

ESAB. **Aristo 500ix,** 2020. Disponível em:<<https://www.esab.com.br/br/pt/products/arc-welding-equipment/multi-process-equipment-cv-cc/aristo-500ix.cfm>>. Acesso em: 19 mar. 2021.

ESAB. **Coreweld 70 Plus,** 2021. Disponível em:<<https://www.esab.com.br/br/pt/products/filler-metals/metal-cored-wires-mcaw/mild-steel-wires/coreweld-70-plus.cfm>>. Acesso em: 19 mar. 2021.

FORTES, C. **Arames Tubulares.** Apostila ESAB S/A, Contagem: 2006.



**Gases de Proteção para Soldagem ao Arco Elétrico: Revista do Aço.** São Paulo: Editora Revista do Aço, n. 5, 12 set. 2017. Disponível em:<<https://www.revistadoaco.com.br/gases-de-protecao-para-soldagem-ao-arco-eletrico/>>. Acesso em: 19 mar. 2021.

MACHADO, Ivan Guerra. **Soldagem e técnicas conexas: processos.** Porto Alegre, 1996.

Preço do arame tubular Coreweld 70 Plus. Ebay, 2020. Disponível em:<<https://www.ebay.com.au/> >. Acesso em: 19 mar. 2021

RODRIGUES, Lucilene de Oliveira. Dissertação de Mestrado, **Análise e Otimização de Parâmetros na Soldagem com Arame Tubular.** Universidade Federal de Itajubá, 2005.

Soldador, salário 2021 e mercado de trabalho. **Salário, 2020.** Disponível em:<<https://www.salario.com.br/profissao/soldador-cbo-724315/>>. Acesso em: 19 mar. 2021

VAIDYA, V. V. **Shielding Gas Mixtures for Semiautomatic Welds.** Welding Journal. v. 81, n. 09, p. 43 – 48. Set 2002.

Valores de tarifas e serviços. **CEMIG, 2020.** Disponível em:<<https://www.cemig.com.br/atendimento/valores-de-tarifas-e-servicos/>>. Acesso em: 19 mar. 2021

WAINER, Emílio; BRANDI, Sérgio Duarte; MELLO, Fábio Décourt Homem de. **Soldagem: Processos e Metalurgia.** 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda., 2004, 506 p.