

Projeto de um Dispositivo Direcionador para Melhor Ajuste da Posição do Arame na Soldagem GTAW Orbital Mecanizada

(Design of a Wire Guide Manipulator for Better Adjustment of the Wire Position on Mechanized orbital GTAW process)

Kauê Corrêa Riffel¹, Luiz Eduardo Paes¹, Régis Henrique Gonçalves e Silva¹, Mateus Barancelli Schwedersky¹, João Facco de Andrade¹, Fernando Ruviaro¹

¹Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica - LABSOLDA, Florianópolis, SC, Brasil, kaue.riffel@posgrad.ufsc.br

Resumo

Processos de soldagem mecanizados tem demonstrado recentemente grande capacidade de aumentar a produtividade em relação aos sistemas convencionais. O processo GTAW com alimentação automática se insere neste contexto, mas sua estabilidade ainda possui uma forte dependência em relação ao modo de transferência metálica. Dispositivos direcionadores de arame permitem manter uma posição de inserção durante a soldagem, fato que auxilia no controle da adição de metal com o objetivo de garantir a estabilidade necessária. Contudo, os equipamentos que direcionam o arame muitas vezes carecem de uma flexibilidade em ajustes, fato relevante durante procedimentos de soldagem orbital. Este trabalho apresenta uma análise da problemática da alimentação na soldagem TIG orbital mecanizada que levaram à necessidade do projeto de um dispositivo direcionador que melhora o controle da direção do arame no processo TIG mecanizado com alimentação automática. Utilizando uma metodologia de projeto, dividida em projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado, foi realizado um estudo prévio de dispositivos existentes no mercado, e quais pesquisas de novos equipamentos nessa linha estão em andamento, com o propósito de identificar as características dos modelos existentes. Após isso, partiu-se para uma modelagem em CAD de um dispositivo que atendesse às necessidades durante a soldagem. A melhor concepção de direcionador do metal de adição encontrada foi um dispositivo com movimento de translação em três eixos (x, y, z), dando maior flexibilidade ao processo. O estudo realizado neste trabalho contribui significativamente para entender as dificuldades na soldagem TIG com alimentação automática, com o direcionador proposto foi possível melhorar o controle que o soldador tem sobre o posicionamento do arame podendo modificar a transferência metálica.

Palavras-chave: TIG, Adição de material, Soldagem orbital, Translação (x,y,z).

Abstract: *Recently, mechanized welding processes have shown relevant results in terms of productivity if compared with conventional systems. GTAW process with automatic wire feeding is part of this reality, but its stability is still dependent on metal transfer mode. Wire guide manipulators allow to keep wire position during welding, changing transfer modes as necessary. However, most devices don't have the required flexibility, which is relevant in orbital welding procedures. This work presents an analysis on wire feed problems on mechanized orbital TIG welding that led a wire guide manipulator design capable of improve the wire entry position in mechanized TIG process with automatic feeding. Using a design methodology based on informational design, conceptual desing, preliminary design and detailed design, we carried out a previous research in order to recognize the existing wire guide characteristics. Then, a CAD model was developed considering all constraints needed during welding. The best wire manipulator concept found has the three axis translation motion (x, y, z) as a principle, which enables process flexibility. This study accomplished the aim of undertanding the welding difficulties found in automatic feeding TIG welding. In addition, the developed wire guide manipulator offered a better control over the metal transfer.*

Key-words: TIG, Automatic wire feeding, Orbital Welding, Translation (x,y,z).

1. Introdução

O processo de soldagem GTAW (Gas Tunsten Arc Welding), também chamado de TIG (Tungsten Inert Gas), é um processo a arco voltaico cuja característica principal diz respeito ao excelente controle que o soldador

possui sobre a poça de fusão, possibilitando obtenção de ótimos resultados para soldagem de união e de revestimento com diferentes metais [1]. A independência entre a corrente do arco e a quantidade de material de adição aportado em cada procedimento certamente é um dos fatores primordiais que fazem com que o TIG apresente maior controle da poça de fusão em comparação com processos que utilizam eletrodo consumível. Dessa forma, o TIG é reconhecido industrialmente como o processo de soldagem a arco que proporciona qualidade para as aplicações com elevado requisito, porém, sendo considerado de maneira geral como um processo de baixa produtividade. Neste sentido, é notável que um grande percentual dos procedimentos usando o TIG, principalmente para a soldagem de união em tubulações é realizado manualmente. Isto contribui decisivamente para o rótulo de baixa produtividade, no entanto, este conceito tem mudado com o emprego de sistemas mecanizados compostos por manipuladores robóticos, e com alimentação automática de metal de adição [2]. A soldagem com o processo TIG utilizando estes recursos possibilita uma maior produtividade, além de minimizar as variações da altura do arco impostas pelo soldador, propiciando maior repetitividade dos resultados [3]. A alimentação automática de arame pode ser dividida em dois tipos: *hot wire* (aramé quente) e *cold wire* (aramé frio). Ambas possuem aplicação na soldagem de passe de raiz e revestimento em dutos e tubulações para a indústria petrolífera. Em virtude da impossibilidade de rotação do tubo, o procedimento deve ser realizado ao longo do seu perímetro, deslocando-se o arco de maneira a orbitar a peça. Esta metodologia conhecida como soldagem orbital [2].

Existem dois modos de transferência de metal de adição no processo TIG, chamados de transferência por ponte (filamentar ou não interrompida) e de transferência destacada (interrompida/intermitente). Em ponte, a transferência ocorre com o metal de adição sempre tocando a poça de fusão que “puxa” o metal líquido na ponta do arame por possuir maior massa, neste caso a principal força atuante é a associada à tensão superficial. Na transferência destacada, uma gota é lançada para a poça de fusão sem que o arame toque na mesma. Neste caso, a principal força atuante é a da gravidade [4]. Assim sendo, existem formas de regular a transferência de material por meio de ajustes nos parâmetros elétricos, regulagem na velocidade de alimentação e modificação na posição de entrada do arame, porém as duas primeiras modificam as características do cordão de solda depositado.

Os procedimentos de soldagem orbital alternam entre várias posições de soldagem como a plana, horizontal, vertical e áreas de transição. Considerando que o comportamento da poça varia em função da mudança nas posições, a transferência destacada é indesejável devido à possibilidade de contaminação do eletrodo de tungstênio e consequente perda de produtividade. Após contaminado, a emissão de elétrons pelo efeito termiônico é comprometida, e o soldador deve reafiná-lo, tarefa que demanda tempo e pode tornar necessário interromper a soldagem. Além da mudança na posição de soldagem existe mais um fator que aumenta a dificuldade do controle na soldagem orbital com alimentação de arame, que é a variação natural do metal de adição que sofreu deformação plástica quando foi bobinado, isso faz com que o mesmo se desvie em relação ao eletrodo de tungstênio podendo gerar defeitos de soldagem como falta de fusão e modificações geométricas do cordão depositado. Neste contexto, os dispositivos que orientam o arame até a poça, também chamados de direcionadores, devem ser robustos e flexíveis o suficiente para possibilitar uma alimentação contínua, com transferência em ponte, mediante a possibilidade de ajustes manuais durante a soldagem.

De maneira geral existe pouca disponibilidade de equipamentos destinados à ajustar o metal de adição no mercado, já que a maior parte das aplicações do processo TIG orbital é manual, sendo assim, os disponíveis carecem em termos de flexibilidade porque não são exclusivos para o uso em um processo mecanizado. Porém, é possível encontrar direcionadores destinados à soldagem mecanizada, que atendem aos requisitos, mas são geralmente dispositivos importados de difícil aquisição pois possuem um custo muito elevado além de possuir gastos extras agregados como transporte e impostos de importação. O Instituto de Soldagem e Mecatrônica – LABSOLDA, da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), tem atuado com o objetivo de desenvolver tecnologias nacionais, visando atender às necessidades da pesquisa e da indústria. O dispositivo direcionador constitui um exemplo e possui elevada importância por influenciar significativamente nos resultados do processo. Conforme Pigozzo [4], os direcionadores de arame projetados no LABSOLDA tiveram uma evolução gradativa durante os anos, partindo de conceitos básicos que eram rígidos e de pouca flexibilidade até chegar em concepções mais recentes que possuem maior grau de sofisticação e permitem ajustes no ângulo de inserção do arame. Contudo, algumas limitações ainda são encontradas.

O presente trabalho apresenta o projeto de um direcionador de arame que busca atender às necessidades do operador de soldagem durante a realização de um procedimento mecanizado, contemplando o desenvolvimento de um dispositivo nacional.

2. Matérias e Métodos

A metodologia selecionada pode ser descrita como uma abordagem sistemática consolidada na engenharia, composta pela evolução ordenada de modelos. A cada etapa, um modelo mais detalhado e completo substitui um mais simples e abstrato, até chegar à concepção física de um protótipo [5]. Sua estrutura é mostrada na Figura 1, e foi denominado por Ogliari [6] como modelo de consenso, formado pela união das fases propostas por Pahl &

Beitz [7], Hubka & Eder [8].

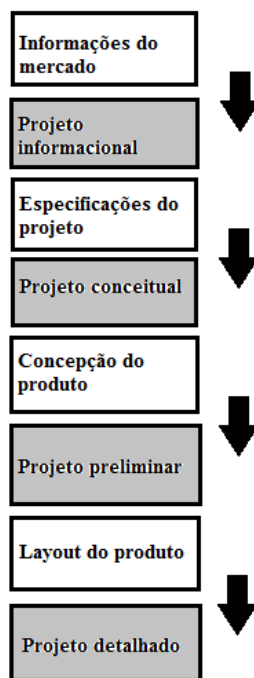


Figura 1. Modelo sistemático para realização de projetos. Adaptado de Ogliari [6].

Ao passo de cada etapa mostrada acima, pretende-se um ganho de informação e detalhamento do produto que supera a etapa anterior, aumentando cada vez mais a concretização do projeto.

2.1. Projeto Informacional

Nesta fase levantou-se as necessidades e definições do projeto. Isto foi feito por meio de procedimentos de soldagem orbital utilizando-se os modelos disponíveis de direcionadores de arame, além de entrevistas com os operadores que utilizam o equipamento. Assim, obteve-se ao final dessa fase as especificações técnicas do projeto. Essas especificações constituem uma lista dos objetivos que o equipamento final deve atender. Fonseca [9] propõe um guia sistemático para a elaboração das especificações técnicas, cujo método foi adaptado para aplicação no âmbito deste trabalho. As etapas seguidas foram:

- Definição das necessidades do operador de soldagem
- Conversão dos requisitos do operador de soldagem em necessidades do projeto
- Avaliação dos requisitos do operador x necessidades do projeto
- Lista de especificações do projeto

2.2. Projeto Conceitual

Esta é a fase mais importante no projeto de um produto, pois decisões tomadas nela irão influenciar todas as outras etapas do projeto [6]. Nesta etapa foi definida a função global do sistema. A partir disso levantou-se concepções na criação do novo direcionador de arame com base nas especificações do projeto.

No processo de conversão das especificações técnicas em representações físicas do produto, seguiu-se a proposta sugerida por Pahl & Beitz [7], de acordo com as seguintes etapas:

- Definição da estrutura funcional
- Busca por princípios alternativos para cada função
- Combinação dos princípios alternativos de modo a obter-se conceitos alternativos do equipamento
- Seleção das concepções mais viáveis

Neste segundo passo na realização do projeto, buscou-se analisar os trabalhos executados previamente no LABSOLDA, bem como equipamentos comerciais, com o intuito de identificar o funcionamento de cada

direcionador existente e projetar um conceito diferenciado.

2.3. Projeto Preliminar

Nesta fase do projeto definiu-se os materiais e processos de fabricação que serão empregados no novo direcionador, levando em consideração componentes já existentes no mercado. Na determinação das dimensões e geometrias do equipamento, buscou-se obter soluções semelhantes às obtidas no projeto conceitual, porém confrontando com a disponibilidade de máquinas para a futura produção das peças. Com o intuito de facilitar e organizar a seleção dos materiais no projeto preliminar, o direcionador de arame foi dividido em estruturas, que foram identificadas em função das funcionalidades do produto.

- 1- Corpo do direcionador
- 2- Fusos
- 3- Bico de contato (tubo condutor)

A seleção dos materiais seguiu uma metodologia específica conforme descrita no tópico a seguir.

2.4. Seleção dos materiais

Inserido na sistematização das fases do projeto, mais precisamente no projeto preliminar, está a seleção adequada dos materiais que serão aplicados na construção do produto. Ashby [10] propõe uma metodologia para a escolha do material dividida em duas etapas:

- (1) Identificação dos atributos necessários
- (2) Comparação entre os materiais, a fim de obter a melhor relação

A primeira etapa tem o propósito de analisar os requisitos do projeto para identificar as restrições impostas na escolha do material, de acordo com a Tabela 1. No caso deste trabalho, o direcionador de arame estará exposto a uma temperatura relativamente alta. Além disso, o equipamento deve ser o mais leve possível para não comprometer os movimentos do manipulador durante a soldagem mecanizada. Deste modo, a larga faixa de escolha de materiais é reduzida àqueles capazes de atender às necessidades. Na segunda etapa, os materiais selecionados, são classificados e comparados entre si por meio da análise de índices que representam as propriedades mecânicas de cada um.

Tabela 1. Requisitos que devem ser identificados no projeto para seleção do material. Adaptado de Ashby [10]

Função	O que o componente faz?
Restrições	Quais condições devem ser atendidas?
Objetivo	O que deve ser minimizado ou maximizado?
Variáveis livres	Que parâmetros do projeto são de livre mudança?

2.5. Projeto detalhado

O projeto detalhado consistiu na elaboração dos desenhos técnicos por meio de *software* CAD, e análise final de cada peça do direcionador de arame. Esta fase também serviu para a criação de uma lista dos componentes, com o intuito de facilitar tanto a identificação como a fabricação.

3. Resultados e Discussão

3.1. Planejamento informacional

As necessidades e os problemas enfrentados pelo operador foram identificados durante a realização do passe de raiz em um procedimento de soldagem orbital TIG com alimentação automática de arame frio, no qual a soldagem mostrava-se muito instável sem repetitividade dos resultados. O passe de raiz é uma das fases de maior responsabilidade na soldagem de uma junta, por isso exige elevada precisão na alimentação do metal de adição. Sendo assim, verificou-se que uma das causas estava relacionada com a mudança da posição de entrada do metal de adição durante o processo, conforme mostrado na Figura 2. Tal fato, como mencionado anteriormente é consequência da deformação plástica que o arame sofreu durante sua fase de bobinamento além da variação do cabo conduíte durante o movimento orbital.



Figura 2. Desvio do arame descentralizado em relação ao eletrodo.

Para corrigir este problema foram utilizados equipamentos já existentes no mercado. Verificou-se que alguns direcionadores comercializados são para aplicação em soldagem manual, por isso são rígidos, conforme mostra a Figura 3, e não possibilitam o ajuste na posição de inserção do metal de adição durante a soldagem. Isto dificulta o controle que o operador possui sobre a forma da transferência metálica (destacada ou ponte) no processo TIG. Outros, conforme o desenvolvido no LABSOLDA, mostrado na Figura 4, aplicados em pesquisa e desenvolvimento, são flexíveis, porém limitados à modificação no ângulo de alimentação (α) apenas. Logo, para mudar as demais variáveis relacionadas à posição, a soldagem necessita ser interrompida, pois o parafuso de ajuste (P) indicado em 3a é de difícil acesso durante o procedimento. Problemas também foram obtidos com o tipo de material em que foi fabricado o direcionador. No caso, o celeron não se mostrou apropriado pois não resiste às altas temperaturas geradas no arco elétrico e o consequente calor transferido para o dispositivo por radiação.



Figura 3. Dispositivos direcionadores de arame existentes no mercado.

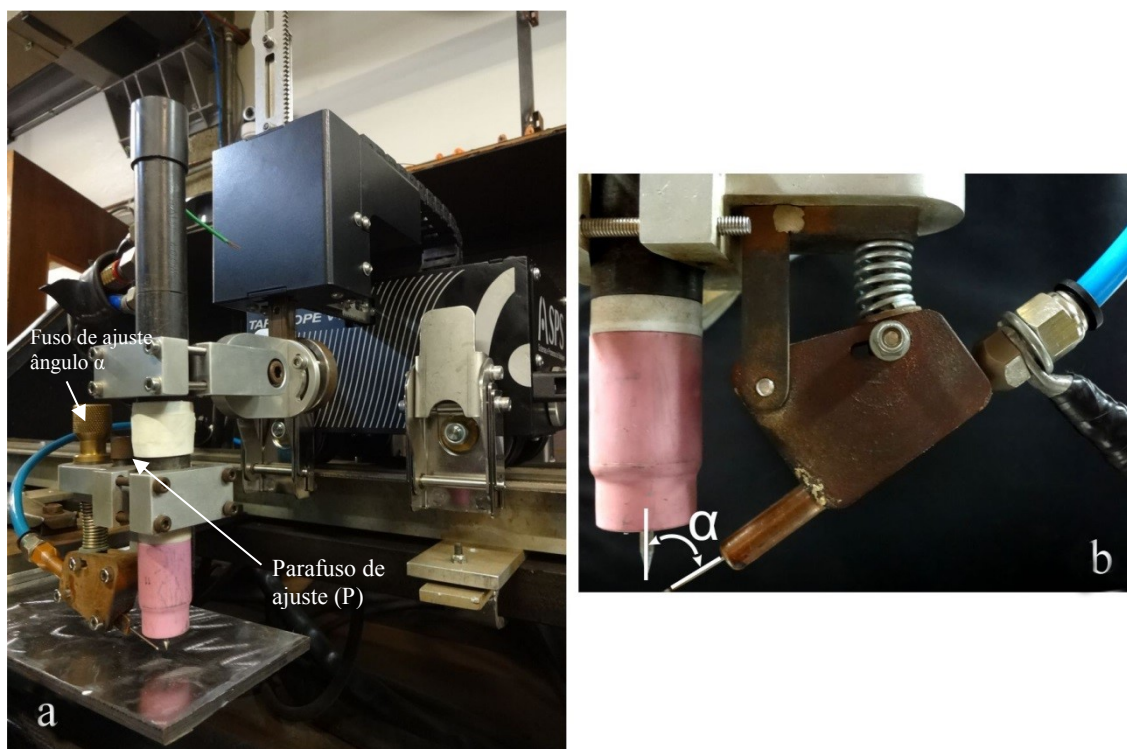


Figura 4. Direcionador de arame aplicado em pesquisa e desenvolvimento. a) Equipamento de soldagem mecanizada. b) Ângulo de alimentação (α).

Com base nas necessidades do projeto, construiu-se a Tabela 2. Estas necessidades representam também os requisitos que correspondem às condições para que o trabalho nas próximas etapas seja bem sucedido. Existem duas formas de se levantar estas necessidades. Uma é baseada no ciclo de vida do produto e em questionários dirigidos diretamente aos usuários do equipamento. Outra corresponde às decisões que a equipe de projeto considera relevante [9]. Neste trabalho as duas estratégias foram abordadas, visto que a equipe de projeto do LABSOLDA trabalha em conjunto com a equipe de soldagem.

Tabela 2. Lista de necessidades do projeto.

Fase do ciclo de vida	Requisitos
Projeto	Empregar o máximo de componentes já existentes (parafusos, bicos de contato)
	Baixa complexidade geométrica
	Menor número possível de componentes
Fabricação	Empregar materiais de fácil usinabilidade
	Empregar processos convencionais de fabricação
	Baixo custo de fabricação
	Fácil montagem e desmontagem das peças
Utilização	Deve ser compacto e possuir baixo peso
	Permitir a correção da trajetória do arame durante a soldagem
	Possibilidade de utilizar em todas as versões de TIG alimentado
Comercialização	Equipamento deve estar apto para aplicações industriais (robusto)

3.2. Função global

Para definir a estrutura funcional do dispositivo direcionador, definiu-se a função global do sistema mostrada na Figura 5. De acordo com Pahl & Beitz [7], esta é uma parte muito abstrata do projeto, porém de fundamental importância para o entendimento da estrutura funcional. Para formação da função global, definiu-se como maior problema o fato do arame chegar curvo, ao direcionador e comprometer o controle sobre a transferência

metálica. Isto ocorre devido ao próprio bobinamento do arame, que gera deformações no fio.

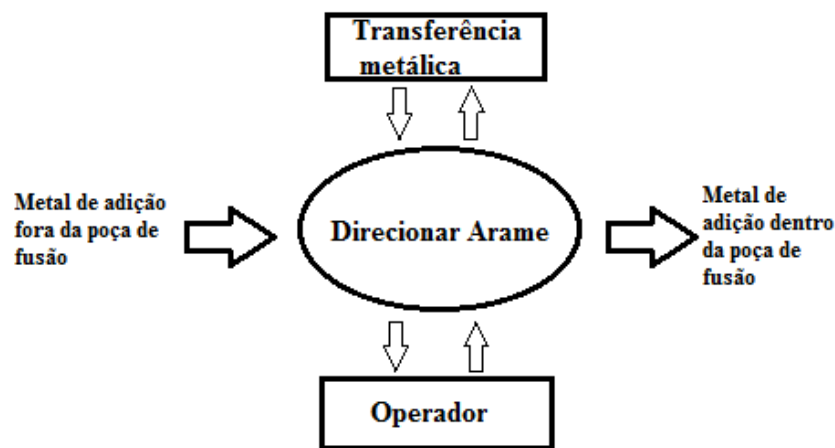


Figura 5. Função global do direcionador de arame.

Analisando a função global é possível observar um fluxo da esquerda para a direita indicando a correção do arame quando este está fora da poça de fusão, para uma condição do arame dentro da poça de fusão. Outro fluxo existe relacionando o operador e a transferência metálica, pois um exerce influência sobre o outro.

3.3. Criação de concepções para resolver o problema

A partir da função global foram geradas duas concepções, mostradas na Figura 6. Com o objetivo de criar novas prospecções, foi sugerido em um dispositivo que incluísse o movimento de translação de eixos, além do movimento de rotação que possibilitasse mudar o ângulo α , encontrado em alguns direcionadores existentes. Esta decisão foi tomada com base em testes com direcionadores que movimentam o ângulo de alimentação. Verificou-se que no direcionador da Figura 3 é necessário um curso do fuso muito grande para gerar uma mudança significativa na posição da ponta do eletrodo (α). É importante salientar que nesta fase de projeto conceitual o foco não foi analisar se as concepções atendem a todos os requisitos do projeto definidos anteriormente, mas sim se satisfazem a função global de direcionar o arame.

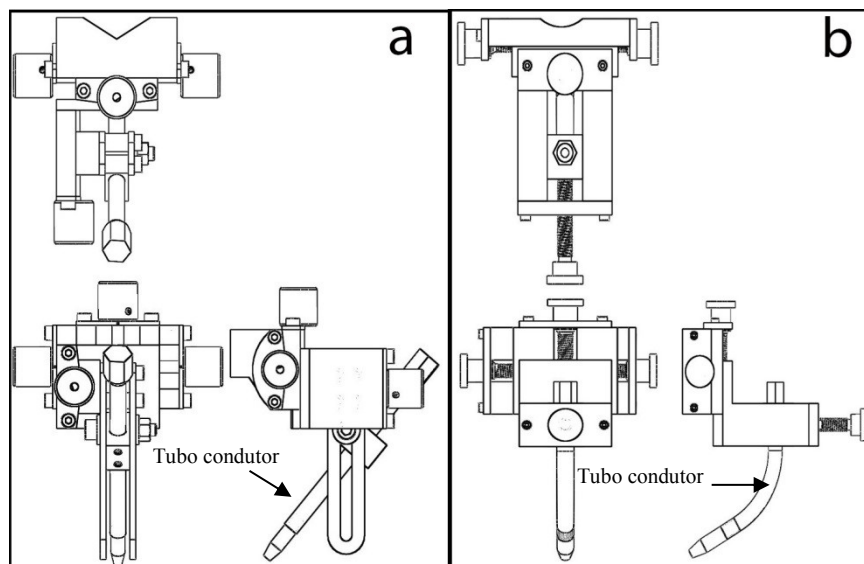


Figura 6. Concepções levantadas como alternativas para resolver o problema. a) Concepção C1 b) Concepção C2.

Ambas as concepções funcionam de acordo com a decisão tomada anteriormente de projetar um dispositivo com translação. O conceito mostrado em 5a é um direcionador com 4 graus de liberdade, ou seja, três eixos de translação e um de rotação, além de um quinto grau de liberdade redundante que movimenta o tubo condutor de

forma à ajustar o ângulo α . O eixo de rotação gira o bico, modificando assim o ângulo de alimentação (α). A concepção 2 também é formada por 3 eixos, porém possui 3 graus de liberdade. Neste caso, o tubo condutor não possui a opção de giro, o ângulo é fixo e depende da sua fabricação. Para alterar o ângulo α seria necessária a fabricação de condutores com outras angulações. Considerando aplicações de pesquisa e desenvolvimento, tal dispositivo não é satisfatório, uma vez que a flexibilidade em parâmetros é desejável para explorar a melhor configuração possível. No entanto, em termos industriais, após encontrar o ângulo α adequado para uma aplicação específica que resulte na transferência em ponte e estabilidade do processo, C2 poderia ser aplicado.

3.4. Avaliação das concepções

Novaes [11] propõe que existem duas formas de criar o projeto conceitual: criar poucas concepções porém com o maior grau possível de detalhamento, ou criar várias concepções porém com pouco nível de detalhamento. Para este trabalho escolheu-se a primeira opção pois já tinha-se em mente a criação de um equipamento que funcionasse por meio de translação. Assim, Novaes [11] também relata que quanto maior o nível de detalhamento mais concreta é a avaliação das concepções, e mais fácil é a realização das etapas seguintes do projeto.

Portanto para avaliar C1 e C2 e saber qual melhor atende às determinações do projeto, primeiramente foi criada uma matriz de comparação, Tabela 3, cujo objetivo é atribuir escores de importância aos requisitos, gerando uma hierarquia entre eles. Neste passo, comparou-se todos os requisitos entre si julgando como sendo “mais importante que”, “não definido” e “menos importante que” a referência escolhida, recebendo assim escores “+1”, “0” e “-1” respectivamente.

Tabela 3. Matriz de comparação entre os requisitos do projeto.

Requisitos do projeto		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
A	Empregar o máximo de componentes já existentes		-1	0	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1
B	Baixa complexidade geométrica	1		1	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1
C	Menor número possível de componentes	0	-1		-1	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1
D	Empregar materiais de fácil usinabilidade	1	1	1		0	-1	1	-1	-1	-1	-1
E	Empregar processos convencionais de fabricação	1	1	1	0		-1	1	-1	-1	-1	-1
F	Baixo custo de fabricação	0	1	1	1	1		1	-1	-1	-1	-1
G	Fácil montagem e desmontagem das peças	1	0	0	-1	-1	-1		-1	-1	-1	-1
H	Deve ser compacto e possuir baixo peso	1	1	1	1	1	1	1		-1	0	1
I	Permitir a correção da trajetória do arame durante a soldagem	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1
J	Possibilidade de utilizar em todas as versões de TIG alimentado	1	1	1	1	1	1	1	0	-1		1
K	Equipamento deve estar apto para aplicações industriais (robusto)	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	

Em seguida, os escores dos requisitos foram somados gerando os escores totais de cada um, bem como o peso equivalente em porcentagem. Com isso defrontou-se as concepções C1 e C2 como mostra a Tabela 4. Para avaliar qual atende mais requisitos impostos no projeto, atribuiu-se conceitos chamados de “Atende”, “Restrições” e “Não atende” cujos valores são “1”, “0” e “-1” respectivamente. Ao final foi realizado o produto da coluna das porcentagens pela coluna C1 e C2, com o seu respectivo somatório. A primeira idealização atendeu em aproximadamente 90% das exigências iniciais do projeto, sendo assim a adotada para a construção do direcionador de arame. Com o fim desta etapa, prosseguiu-se para o dimensionamento do equipamento e a seleção dos materiais a serem aplicados na confecção do dispositivo.

Tabela 4. Matriz de comparação entre os requisitos do projeto.

	Soma	Peso	Concepção C1	Concepção C2
A	-8	1 1,0%	R 0	R 0
B	-5	4 4,0%	A 1	N -1
C	-8	1 1,0%	A 1	A 1
D	-1	8 8,1%	A 1	A 1
E	-1	8 8,1%	A 1	N -1
F	1	10 10,1%	R 0	R 0
G	-6	3 3,0%	A 1	A 1
H	7	16 16,2%	A 1	A 1
I	10	19 19,2%	A 1	A 1
J	7	16 16,2%	A 1	A 1
K	4	13 13,1%	A 1	A 1
Somatório			88,9%	64,6%

3.5. Materiais do direcionador de arame

Os materiais que serão aplicados na construção do equipamento são de fundamental importância devido às condições do ambiente em que o direcionador será utilizado. A Tabela 5 mostra as questões referentes à escolha do material em decorrência de sua aplicação.

Tabela 5. Requisitos identificados que o material utilizado para fabricação deve atender.

Função	Controlar o metal de adição no processo TIG alimentado
Restrições	Deve ter resistência a temperaturas relativamente altas Deve ter baixa densidade Deve ter boa usinabilidade
Objetivo	Grande rigidez no momento da soldagem, com a menor massa possível
Variáveis livres	Parâmetros geométricos

Diante do exposto, o alumínio foi selecionado para o corpo do direcionador devido à sua favorável relação resistência mecânica / peso, o aço para utilização nos fusos, em virtude de elevada resistência ao desgaste e grande resistência mecânica, além de proporcionar um menor coeficiente de atrito com o alumínio, e por último, o cobre para o bico e tubo condutor, uma vez que a condução de corrente elétrica no arame é requisito da versão TIG *hot wire*.

3.6. Direcionador de arame

Com a solução conceitual e os materiais selecionados, iniciou-se o dimensionamento e os ajustes finais em cada componente do conjunto para a obtenção do projeto detalhado. A Figura 7 mostra o direcionador acoplado na tocha, bem como a vista lateral da montagem. Também é possível visualizar a indicação dos 4 graus de liberdade disponíveis no direcionador, nomeados X, Y, Z, e RY. Os fusos X, Y e Z possibilitam a correção do alinhamento na posição de entrada do metal de adição com o eletrodo, enquanto que o cursor RY define o ângulo α previamente à soldagem.

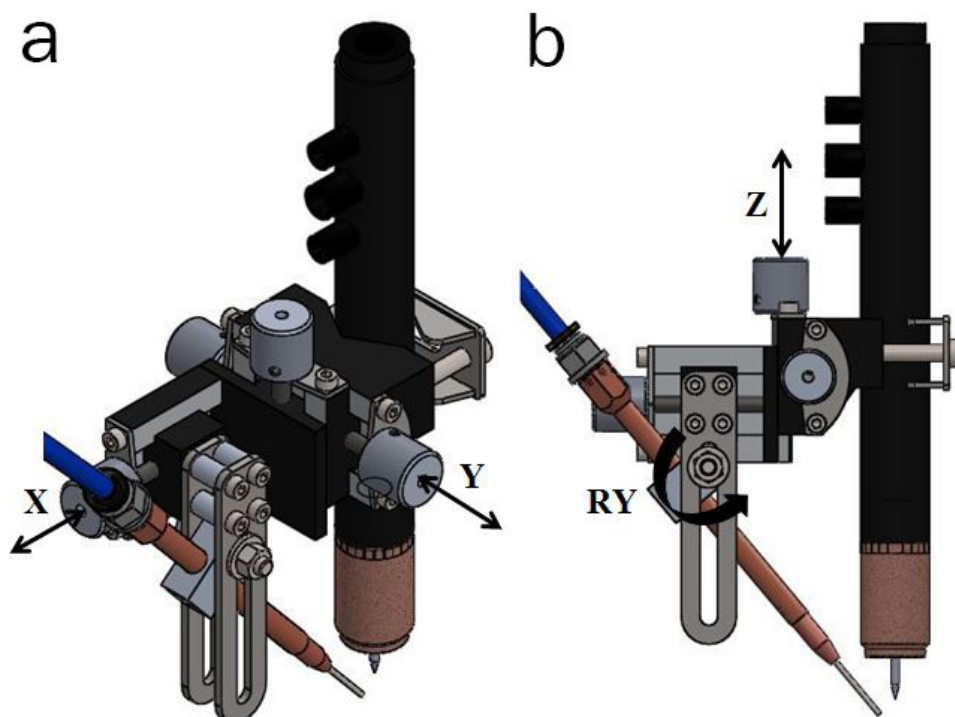


Figura 7. Dispositivo projetado. a) Vista isométrica. b) Vista lateral.

Como etapa final do desenvolvimento do direcionador foi feita a fabricação de um protótipo para avaliar a funcionalidade do equipamento e também verificar se a metodologia utilizada foi a adequada para solução dos problemas levantados inicialmente. A Figura 8 mostra uma imagem do direcionador acoplado à tocha TIG bem como uma vista explodida de cada componente antes de ser feita a montagem.

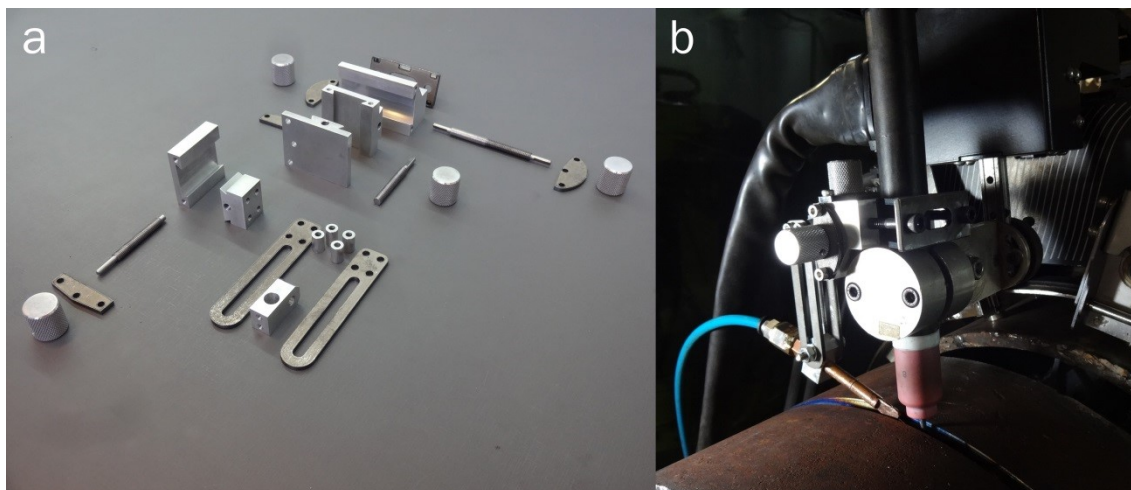


Figura 8. a) Direcionador de arame em uma condição real de soldagem. b) Componentes explodidos.

3.6. Ensaios realizados com o direcionador

Para melhor visualizar a funcionalidade do equipamento foram realizados testes em chapa de aço carbono na posição plana. O primeiro teste, sem ajustar o posicionamento do metal de adição, e o segundo, controlando a posição de entrada. A Figura 9 mostra os dois cordões realizados com corrente contínua e constante de 220 A, velocidade de arame de 1,0 m/min, e ângulo α de 50°.

É possível ver que na condição sem ajuste do arame, este incidu nas isothermas de menor temperatura do arco, ocorrendo uma fusão parcial do mesmo. Quando o ajuste foi feito por meio dos eixos X, Y e Z, a estabilidade na transferência foi alcançada.

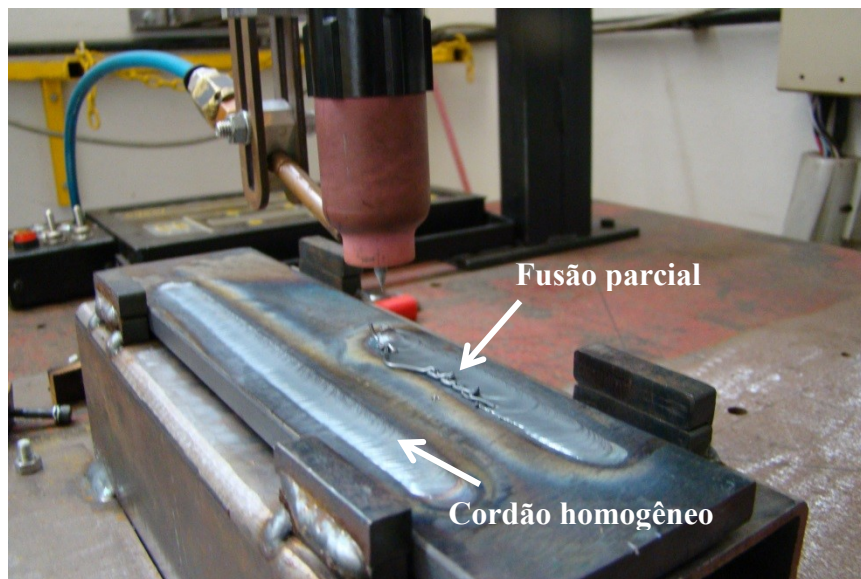


Figura 9. Cordões depositados com e sem direcionamento.

4 . Conclusões

Ao longo dos anos, durante a realização de trabalhos com soldagem TIG e adição de material e agora, no desenvolvimento do projeto descrito neste trabalho, destacam-se as seguintes conclusões.

- Um direcionador de arame que possibilite ao operador de soldagem uma flexibilidade nas variáveis de posição do metal de adição mostrou-se essencial para a obtenção de resultados satisfatórios.
- Ao executar o procedimento, a correção da trajetória por translação indicou ser mais apropriada durante a soldagem, quando comparada a direcionadores antigos que utilizavam ajuste angular.
- O eixo Z apresentou melhor eficiência no posicionamento do arame, permitindo ao operador escolher o local de entrada do metal. Este pode ser inserido no arco ou na poça. O correto posicionamento do arame possui influência significativa sobre o modo de transferência metálica, e consequentemente sobre a estabilidade do processo.
- Os eixos X e Y também são fundamentais para a correção da trajetória, pois muitas vezes é necessário trabalhar com grandes distâncias entre o bico de cobre (local de saída do arame) e o eletrodo de tungstênio. Assim, o metal de adição tem de percorrer um caminho maior até a poça, o que ocasiona sua descentralização.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem à UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina e o Posmec – Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica pela oportunidade, e em especial ao LABSOLDA – Laboratório de Soldagem e sua Equipe de Projetos Mecânicos por tornarem possível este trabalho.

6. Referências Bibliográficas

- [1] LATIF, H. *Advanced Orbital Pipe Welding*. Lappeenranta, Finlândia : Lappeenranta University of Technology, 2012.
- [2] DELGADO, L. C. *Estudo e Desenvolvimento do Processo TIG com Alimentação Automática do Arame*. Florianópolis, Brasil : UFSC, 2000.
- [3] MASCARENHAS, B. A. L. *Estudo da aplicação do processo TIG alimentado para a soldagem em operação*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - CTC/EMC, Universidade Federal de Santa Catarina Florianópolis, Brasil : UFSC, 2005.
- [4] PIGOZZO, O. I.; *Soldagem tig orbital: otimização de equipamentos e prospecções tecnológicas para procedimentos de passe de raiz*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - CTC/EMC, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil : UFSC, 2015.

- [5] FERREIRA, M. G. G.; *Utilização de modelos para a representação de produtos no projeto conceitual*. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - CTC/EMC, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.
- [6] OGLIARI, A.; *Sistematização da concepção de produtos auxiliada por computador com aplicações no domínio de componentes de plástico injetados*. 349 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - CTC/EMC, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.
- [7] PAHL, G.; BEITZ, W. *Engineering design: a systematic approach*. 2nd ed. London: Springer-Verlag, 1996. 544 p.
- [8] HUBKA, V.; EDER, E.W. *Theory of Technical Systems*. London: Springer Verlag. 1988.
- [9] FONSECA, A.J.H.; *Sistematização do processo de obtenção das especificações de projeto de produtos industriais e sua implementação computacional*. 180p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – CTC/EMC. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.
- [10] ASHBY, F. M.; *Materials selection in mechanical design*. 3rd ed. London: Butterworth-Heinemann, 2005. 599 p
- [11] NOVAES, T. L. A.; *Desenvolvimento de um sistema mecânico para a limpeza e classificação de ostras*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - CTC/EMC, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil : UFSC, 2015.