

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

PROJETO E FABRICAÇÃO DE UM DISPOSITIVO AUTOMÁTICO DE SOLDAGEM

por

Kassius Kraemer

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, junho de 2010



Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Mecânica

PROJETO E FABRICAÇÃO DE UM DISPOSITIVO AUTOMÁTICO DE SOLDAGEM

por

Kassius Kraemer

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Walter Jesus Paucar Casas
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: **Projeto e Fabricação**

Orientador: Prof. Dr. José Antônio Esmerio Mazzaferro

Comissão de Avaliação:

Prof. Dr. Ney Francisco Ferreira

Prof. Dr. Vilson João Batista

Prof. Dr. Juan Carlos Sandoval Ortiz

Porto Alegre, 29 de junho de 2010.

Dedico este trabalho de modo especial aos meus pais, Celso e Verací, e à minha irmã Karine, pelo apoio, compreensão e amor dedicado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Universidade Federal do Rio Grande do Sul e todos os seus colaboradores pela oportunidade da formação acadêmica;

ao meu orientador, Prof. Dr. José Antônio Esmerio Mazzaferro, pelos conhecimentos transmitidos e disponibilidade de tempo para ajudar sempre que necessário;

à Schwanke Indústria Metalúrgica Ltda., por disponibilizar de suas dependências, equipamentos e operadores necessários para a realização deste trabalho;

à Alfa Metalúrgica Ltda., por efetuar o beneficiamento dos materiais utilizados no trabalho;

ao Eng. Luiz Eduardo Pereira da Silva e ao Téc. Uilian Abatti de Espindola pela ajuda e atenção prestadas;

aos meus amigos e colegas de trabalho, em especial ao Sr. Werner Schwanke pela colaboração e grande aprendizado profissional proporcionado;

aos meus amigos e colegas, pelo companheirismo e compreensão durante a minha graduação.

KRAEMER, K. **Projeto e Fabricação de um Dispositivo Automático de Soldagem**. 2010. 33f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

RESUMO

Neste trabalho é desenvolvido um dispositivo automático para a soldagem de tambores enroladores de talhas elétricas e avalia-se seu desempenho em comparação ao processo de soldagem anteriormente utilizado. Os tambores são compostos de tubo mecânico com fechamento de chapas de aço carbono ASTM A-36, sendo essas as uniões em estudo. O dispositivo automático de soldagem é projetado para garantir que o processo seja executado com total controle dos parâmetros, de modo a ter maior qualidade na fabricação dos tambores. Também possibilita a regulagem de rotação e comprimento do tambor a ser soldado, possuindo sistema de fixação com contraponto. A influência dos parâmetros de soldagem sobre a qualidade das juntas obtidas é avaliada através de inspeção visual e exame metalográfico. O desempenho do processo de soldagem automatizado é comparado ao do semi-automático sob o ponto de vista da qualidade das juntas obtidas e produtividade do processo. Ao utilizar o dispositivo automático de soldagem foi confirmada uma melhora significativa no desempenho do processo produtivo dos tambores enroladores.

PALAVRAS-CHAVE: Dispositivo de Soldagem, Tambor Enrolador, Talha Elétrica.

KRAEMER, K. **Design and Manufacture of an Automatic Welding Device**. 2010. 33p. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

ABSTRACT

In this work it is developed an automatic device for welding drum winders for electric hoists and it is made an evaluation of its performance compared to the previously used welding process. The drums are made of a mechanical tube closed with ASTM A-36 carbon steel plates, and these are the unions under study. The automatic welding device is designed to ensure that the process is carried out with full control of the parameters in order to have a better quality manufacture of the drums. This device also allows adjustment of rotation and length of the drum to be welded, having fastening system with counterpoint. The influence of welding parameters on the quality of the welds obtained is evaluated through visual inspection and metallographic examination. The performance of the automated welding process is compared to the semiautomatic process, regarding the quality of the welds obtained and the process productivity. The use of automatic welding confirmed a significant improvement in the performance of the production process of drum winders.

KEYWORDS: Welding Device, Drum Winder, Electric Hoist.

ÍNDICE

	Pág.
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA.....	1
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
3.1 Automação Aplicada à Soldagem.....	2
3.2 Soldagem Orbital de Tubos.....	4
4. METODOLOGIA.....	4
4.1 Projeto Conceitual.....	5
4.1.1 Funcionamento.....	5
4.1.2 Esboço.....	6
4.1.3 Lista de Peças.....	6
4.2 Projeto Detalhado.....	7
4.2.1 Acionamento.....	7
4.2.2 Estrutura.....	7
4.2.3 Seleção de Rolamentos.....	8
4.2.4 Sistema de Controle.....	8
4.2.5 Modelo Virtual.....	9
4.3 Fabricação e Montagem do Protótipo.....	9
4.4 Operação do Sistema.....	9
5. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	10
5.1 Materiais e Métodos.....	10
5.1.1 Corpo de Prova.....	10
5.1.2 Processo de Soldagem.....	11
5.1.3 Condução dos Experimentos.....	11
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	12
6.1 Inspeção Visual e Macrografia.....	12
6.2 Custos de Soldagem.....	14
7. CONCLUSÕES.....	15
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	15
Anexo I.....	16
Anexo II.....	18
Apêndice I.....	21
Apêndice II.....	23
Apêndice III.....	25

1. INTRODUÇÃO

A movimentação ágil e facilitada de cargas é um item de suma importância nos diversos setores da indústria. Um excelente resultado é obtido através do uso de equipamentos como pontes e pórticos rolantes, que proporcionam a movimentação de cargas nas direções horizontal (transversal e longitudinal) e vertical. O movimento vertical é feito através de uma talha, que pode ser elétrica, com cabo de aço ou corrente, ou manual com corrente. A talha é fixada num carro, o qual translada na viga da ponte ou pórtico efetuando o movimento transversal da carga. Já a movimentação longitudinal é realizada pelo deslocamento da viga através de um caminho de rolamento.

Por se tratar, na maioria das vezes, de cargas elevadas, esses equipamentos devem ser extremamente seguros, visto que colocam em risco tanto o patrimônio da fábrica quanto a vida de seus funcionários.

Assim, faz-se um estudo de melhorias no processo produtivo de uma das partes essenciais desses equipamentos: o tambor enrolador, usado nas talhas elétricas com cabo de aço. A figura 1.1 mostra uma representação de uma talha com suas principais partes, sendo elas: 1) tambor enrolador; 2) cabo de elevação; 3) guia do cabo; 4) redutor de velocidades; 5) motor de elevação; 6) freio e 7) sistema fim de curso alto e baixo de elevação.

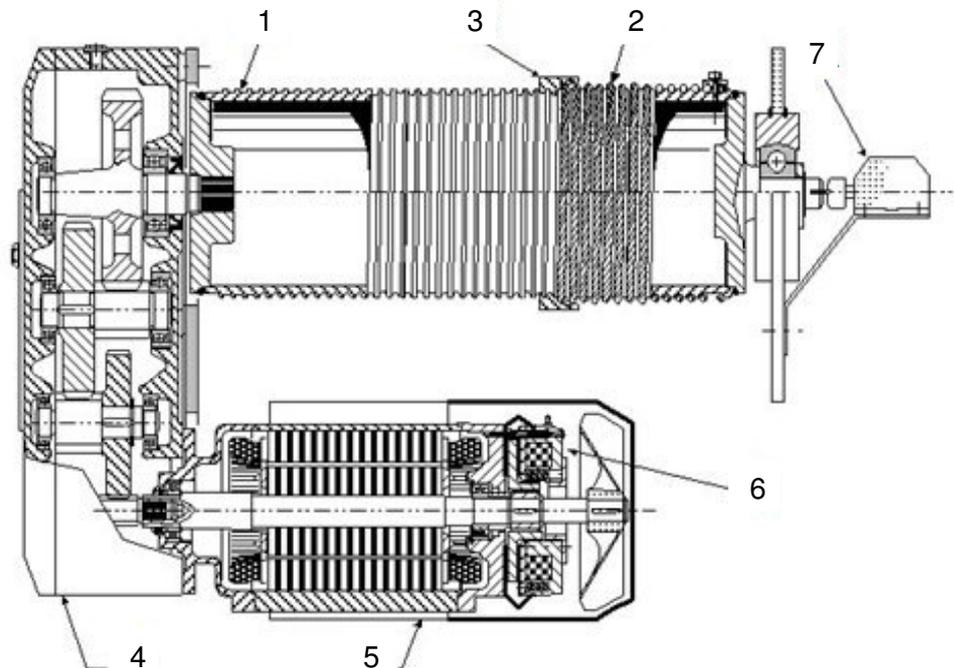


Figura 1.1 – Representação de uma talha elétrica com cabo de aço (Fonte: Schwanke)

O trabalho será realizado com base num caso real de uma empresa fabricante de equipamentos de movimentação de cargas, situada na cidade de Porto Alegre/RS.

A fabricação do tambor enrolador consiste basicamente na soldagem de peças previamente usinadas. O processo atual utilizado é o GMAW (Gas Metal Arc Welding-MIG/MAG) semi-automático, que deixa a desejar tanto na produtividade quanto na qualidade da junta soldada.

O objetivo do trabalho é projetar, fabricar e avaliar um dispositivo automático de soldagem dessas peças. O dispositivo deve proporcionar a soldagem de tambores de diversos comprimentos e diâmetros, com total controle dos parâmetros de soldagem e também conferir repetibilidade ao processo.

2. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

O tambor enrolador é composto por cinco partes: um tubo mecânico onde são usinadas ranhuras para a acomodação do cabo de aço, duas chapas de aço carbono ASTM A-36 (utilizadas para o fechamento das extremidades do tubo e também como base dos eixos), e dois eixos de aço carbono SAE 1020. Uma representação dessa configuração pode ser

visualizada através do corte longitudinal, figura 2.1, onde o número 1 refere-se ao tubo, 2 e 4 as laterais, 3 e 5 aos eixos.

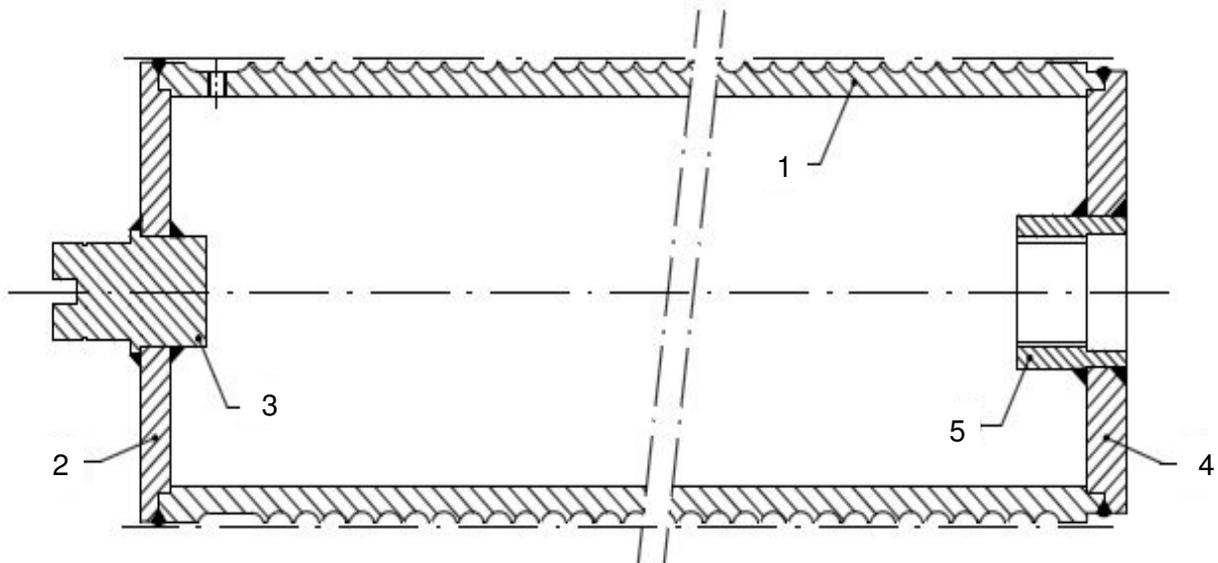


Figura 2.1 – Representação do tambor enrolador – corte longitudinal (Fonte: Schwanke)

Os conjuntos lateral/eixo (2/3 e 4/5) são fornecidos, além de usinados, já posicionados e soldados. A união dos conjuntos ao tubo (1) é realizada na fábrica, pois essas são as juntas soldadas mais solicitadas, nelas encontram-se os maiores esforços devido à aplicação da carga na periferia do tubo, o que gera elevados momentos fletor e torção.

Apesar da relevância da junta, não é seguido um procedimento de soldagem. A fábrica também não possui um dispositivo que sirva como suporte para a realização do processo de soldagem semi-automática: o soldador executa a tarefa posicionando, vertical ou horizontalmente, o tambor sobre uma bancada. Nos dois modos ele necessita girar o tambor, isso é feito com uma mão enquanto solda com a outra ou, caso o tambor tenha uma dimensão maior, o processo é interrompido para girá-lo. Dessa maneira, o processo de soldagem apresenta alguns aspectos negativos, como:

- descontinuidades dos cordões de solda;
- velocidade de soldagem e distância entre o bico de contato e a peça variáveis;
- contaminação da junta ao entrar em contato com a bancada;
- baixa produtividade.

Tais características do processo geram um produto final com baixa confiabilidade, pois as uniões ficam suscetíveis a defeitos que podem levar ao colapso das mesmas.

Como exemplo de problemas ocorridos em talhas, mais especificamente no tambor, podemos citar o caso acontecido numa indústria siderúrgica: durante o procedimento de içamento da carga, a junta soldada que une a lateral ao tubo rompeu, fazendo com que o tubo girasse sobre o encaixe da lateral desenrolando o cabo de aço, derrubando a carga. Numa análise posterior constatou-se que o cordão de solda estava com penetração incompleta na espessura do metal de base, defeito oriundo do processo inadequado de soldagem utilizado na fabricação do tambor.

Para evitar que acidentes como esse aconteçam é necessário a criação de um dispositivo que possibilite uma melhora significativa na qualidade das juntas soldadas, bem como proporcione ganho de produtividade.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Automação Aplicada à Soldagem

A implantação da robótica no processo de soldagem a arco elétrico sob proteção gasosa requer um rigoroso controle das variáveis que nele interferem, exigindo das indústrias que o utilizarem controle e preparo superiores aos exigidos por outros processos de soldagem [Tremonti, 2000].

A automatização do processo de soldagem é freqüentemente adaptado à células robotizadas em busca de qualidade e produtividade. No entanto a realidade da maioria das indústrias ainda é a utilização do processo manual de soldagem, fato atribuído principalmente ao atendimento das suas necessidades e ao alto custo de um robô [Tusset et al., 2008].

A proposta e a avaliação técnica ao escolher um robô apropriado não devem observar apenas suas características, mas necessitam considerar as melhorias e o avanço que o processo pode representar para a produção. Aconselha-se que sejam considerados também alguns aspectos, como [Tremonti,2000]:

- redução do número de dispositivos para as peças sem a interferência de outro elemento que não esteja integrado a este;
- diversificação de peças a serem soldadas no dispositivo;
- quantidades de peças produzidas;
- ciclo de trabalho para cada peça;
- número de turnos de trabalho;
- previsão de parada para manutenção;
- resistência da junta;
- redução de respingos de metal oriundos do arco elétrico;
- garantia de compatibilidades entre fontes de solda e robô;
- treinamentos de instalação, programação e segurança;
- quantidade e nível de complexidade dos dispositivos para atingir os níveis de produção projetados;
- redução da área atual para a nova área a ser ocupada;
- demonstração prática da soldagem por parte do fornecedor do robô, confirmando a possibilidade real de se introduzir a robotização, permitindo uma análise técnica mais próxima da realidade;
- redução de insumos de solda para a produção;
- preparação das peças para ter garantia de que estejam conformes as exigências dos desenhos;
- comparar o sistema em uso (manual / semi-automático) com o robotizado;
- custos com dispositivos e equipamentos de soldagem, mão-de-obra direta, reposição de peças e manutenção do robô;
- benefícios indiretos, tais como programação de novos turnos de acordo com a necessidade, qualidade assegurada, marketing.

Estudos comparativos entre os processos de soldagem (manual x robotizado) mostram-se favoráveis ao processo robotizado. No ensaio de tração os corpos de provas soldados por uma célula robotizada apresentaram forças de ruptura mais elevadas. As análises da microestrutura e dureza apresentaram pequenas diferenças: a ZAC (zona afetada pelo calor) mostrou-se maior nos processos manuais. Também notou-se maior alteração nas características da microestrutura no processo manual. Adicionalmente constatou-se através de inspeção visual qualidade de solda melhor quando o processo é automatizado [Tusset et al., 2008].

A viabilidade de robotizar o processo deve ser questionada tendo em vista [Tremonti,2000]:

- quantos soldadores trabalham ou se pretende que trabalhem na soldagem dos produtos a serem produzidos;
- quantos turnos de trabalho são utilizados ou se pretende utilizar;
- qual a qualidade e dimensão da soldagem a se realizar;
- quantos conjuntos são necessários por ano;
- qual a freqüência de modificações nos produtos (modelos, alterações de projetos e outros).

O sucesso da robotização deve-se principalmente à preparação e montagem das peças a serem soldadas. A montagem precisa permitir livre acesso da tocha à junta e deve ser suficientemente rígida para assegurar um posicionamento preciso e estável dos diversos elementos [Tremonti,2000].

3.2 Soldagem Orbital de Tubos

A união de tubos é comumente realizada promovendo o rotacionamento dos mesmos, enquanto a tocha, ou o eletrodo, permanece fixo. Este procedimento resulta numa junta de boa qualidade aliada à elevadas velocidades de soldagem. No entanto, nem sempre os tubos permitem ser rotacionados. Nessas condições é utilizado o sistema denominado soldagem orbital, que rotaciona a tocha de soldagem ou o eletrodo em torno do tubo a ser soldado [Arima et al., 2003].

Um exemplo do sistema orbital de soldagem é desenvolvido com a utilização do processo TIG (*Tungsten Inert Gas*). O sistema destina-se à aplicação na indústria de extração e refino de petróleo, tanto na montagem de equipamentos quanto de linhas de transporte em plantas industriais. O sistema é composto por um cabeçote orbital de câmara fechada, uma fonte de soldagem e uma unidade de controle, responsável por gerenciar o funcionamento de todo o sistema. O cabeçote de soldagem TIG orbital é responsável pelo deslocamento angular do eletrodo de tungstênio ao longo do perímetro do tubo, também garante o correto alinhamento dos tubos a serem unidos, além de criar um ambiente a ser preenchido com gás inerte, afim de proteger a poça de fusão da contaminação com oxigênio do ar. A fonte de soldagem apresenta reduzidas dimensões, possibilitando aplicações em campo. A unidade de controle é constituída por um sistema microcontrolado, onde um software é responsável por gerar os sinais de corrente de soldagem e velocidade de deslocamento do eletrodo. O software é de extrema importância no funcionamento do processo, pois a soldagem orbital ocorre em todas as possíveis posições de soldagem, logo os parâmetros necessitam de alterações de acordo com a posição relativa do eletrodo ao tubo. O cabeçote orbital é capaz de soldar tubos com diâmetros de 6 a 77 mm e espessura de 0,5 a 4 mm. A figura 3.1 ilustra o sistema de soldagem orbital constituído do cabeçote montado e acoplamento do conjunto posicionador [Arima et al., 2003].

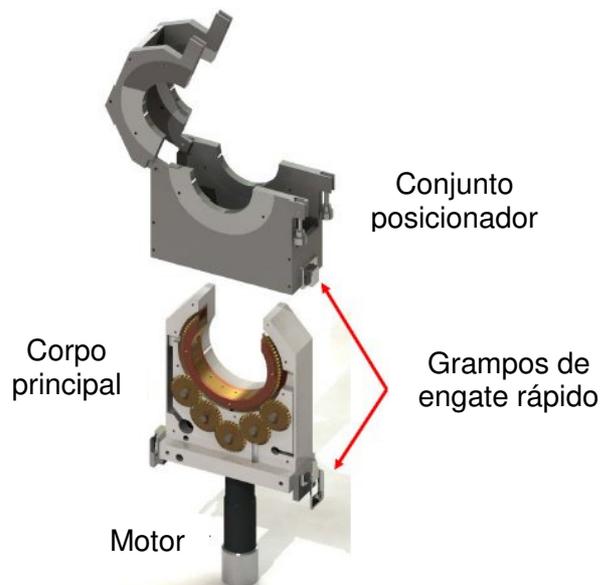


Figura 3.1 – Sistema de soldagem orbital

4. METODOLOGIA

O processo de fabricação dos tambores enroladores é relativamente simples, consistindo apenas da união das laterais ao tubo. Deve ser um procedimento ágil e que apresente ótimos resultados de resistência da junta, o que para ocorrer implica em alterações no processo produtivo atual.

Num primeiro momento será projetado um equipamento capaz de realizar automaticamente a união das laterais ao tubo dos tambores. Esse dispositivo será de uso exclusivo, não havendo intenções de comercialização em série. O projeto busca resolver o problema apresentado com o menor custo, para isso prevê a utilização de materiais que a fábrica dispõe em estoque, bem como do processo de soldagem (MIG/MAG) já adotado.

O dispositivo deve ser capaz de suprir as seguintes especificações técnicas:

- suporte móvel para a fixação da tocha de soldagem;
- suporte para o posicionamento do conjunto tubo/laterais;
- possibilidade de soldar tambores com diferentes diâmetros e comprimentos;
- variação na rotação do tambor;
- inversão do sentido de giro do tambor;
- operar em tensão de serviço de 220V;
- possuir uma estrutura rígida.

Atendidas essas necessidades, em seguida será fabricado um protótipo do dispositivo. Concluída essa etapa ocorrerá a definição dos parâmetros (testes para ajustes) e execução das soldas em condições consideradas ideais. Por fim serão comparados alguns cordões de solda confeccionados com os diferentes processos de soldagem (semi-automático e automático).

4.1 Projeto Conceitual

O objetivo do dispositivo a ser projetado é realizar de forma automatizada a soldagem das laterais no tubo do tambor enrolador. A implementação de um processo robotizado de soldagem atenderia tal necessidade. No entanto não há uma produção de tambores em série, já que as dimensões variam conforme as especificações da talha, assim precisaríamos de um dispositivo para a fixação do tambor e que o braço robotizado fizesse a movimentação para executar a soldagem. Essa necessidade de movimento tornaria o uso desse dispositivo extremamente dispendioso.

A configuração do dispositivo a ser fabricado assemelha-se ao sistema de fixação do tambor que seria utilizado no processo robotizado. Trata-se de uma base rígida contendo três suportes, dois móveis e um fixo. Dois desses suportes, um móvel e um fixo, contêm mancais destinados à fixação do tambor, já o terceiro serve como base para o motoredutor. A base do dispositivo possui determinados pontos para o posicionamento do suporte móvel contendo o mancal de apoio do tambor. O suporte fixo do tambor encontra-se na extremidade da base. Esse contém o mancal de encosto que é constituído por um contraponto cônico solidário a um fuso sem-fim e tem por função promover a fixação final do tambor, centralizando-o e permitindo seu giro.

O motoredutor tem por função promover a rotação do tambor, que é controlada através do uso de um conversor de frequência. Devido aos diferentes comprimentos de eixos dos tambores, o motoredutor também é alocado sobre um suporte móvel. Sua fixação não é necessária por não haver demanda de alta rotação nem de esforço no sentido axial. A transmissão de seu movimento é realizada apenas posicionando-o de forma com que ocorra o acoplamento ao entalhe existente na extremidade do eixo do tambor.

A tocha MIG/MAG é acoplada ao dispositivo através de um sistema que translada na lateral da base do mesmo. Esse permite à tocha uma mobilidade de translação e rotação nos eixos cartesianos.

O dispositivo permite a soldagem de tambores com comprimento e diâmetro máximos de 1800mm e 510mm, respectivamente.

4.1.1 Funcionamento

Primeiramente é feito o posicionamento do tambor nos mancais e também do motoredutor. O comprimento do tambor é verificado para que se possa fixar o mancal de apoio num dos locais pré-determinados. Em seguida faz-se o encosto do contraponto, isso ocorre girando o fuso sem-fim através de um volante, concluindo assim o posicionamento do tambor. O motoredutor é posicionado junto ao mancal de apoio, de modo a ficar acoplado ao eixo do tambor.

Num segundo momento faz-se a fixação da tocha de soldagem no suporte do dispositivo. Depois de fixada, procede-se seu posicionamento sobre a junta a ser soldada.

A última etapa do procedimento envolve ajustes de parâmetros no conversor de frequência e na fonte de soldagem. Tais ajustes, juntamente com o posicionamento da tocha, devem ser realizados por profissionais capacitados, pois cada tipo de tambor requer uma configuração de parâmetros.

Depois de concluídos os posicionamentos e ajustes, o dispositivo pode ser colocado em uso. É dada a partida no motoredutor, fazendo com que o tambor inicie sua rotação, em seguida inicia-se a soldagem da junta. O processo pode ser repetido de acordo com o número de passes necessários.

Encerrado o processo de soldagem, o motoredutor é desligado e afastado do tambor, e o mesmo é retirado de seus mancais procedendo de maneira inversa à da alocação.

Quando o dispositivo automático de soldagem encontra-se ocioso, a fonte de soldagem é utilizada nas demais atividades da fábrica. Para uma melhor compreensão, um diagrama esquemático de funcionamento (figura 4.1) é apresentado.



Figura 4.1 - Diagrama esquemático de funcionamento do dispositivo automático de soldagem

4.1.2 Esboço

O esboço do dispositivo é de fundamental importância para o projeto, pois através dele é possível visualizar as principais partes do equipamento e elaborar uma lista de materiais, analisando o que há disponível em estoque para a construção do protótipo. A figura 4.2 representa o dispositivo em seu conjunto, onde a seguinte numeração corresponde às partes fundamentais: 1) base do equipamento; 2) mancal de apoio; 3) mancal de encosto; 4) motoredutor; 5) suporte da tocha de soldagem e 6) painel elétrico.

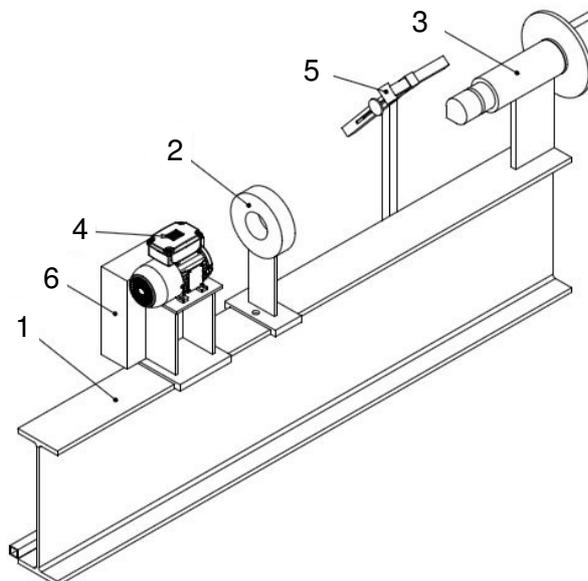


Figura 4.2 - Esboço do dispositivo automático de soldagem

4.1.3 Lista de Peças

Tendo por base o esboço representado pela figura 4.2 foi elaborada uma lista prévia de materiais necessários para a construção do dispositivo, que contém peças padrão disponíveis no estoque da fábrica ou facilmente encontradas no mercado.

Sistema mecânico:

- viga laminada perfil “I” de aço carbono ASTM A-36 – em estoque;
- chapas de aço carbono ASTM A-36 – em estoque;
- barras redondas de aço carbono SAE 1045
- tubos mecânicos de diferentes diâmetros;
- rolamentos – em estoque;
- anéis de retenção – em estoque;
- parafusos, porcas e arruelas – em estoque;
- tubos industriais com perfil quadrado;
- motoredutor – em estoque.

Sistema elétrico:

- painel elétrico – em estoque;
- conversor de frequência – em estoque;
- fiação – em estoque;
- potenciômetro;
- disjuntor termomagnético
- chave geral liga-desliga;
- bornes.

4.2 Projeto Detalhado

4.2.1 Acionamento

O motoredutor disponibilizado pela fábrica é composto de um motor de dois pares de pólos acoplado a um redutor de engrenagens helicoidais. Suas principais especificações seguem abaixo, demais informações conforme catálogo disposto no Anexo I.

- marca: SEW EURODRIVE;
- modelo: RF37DZ71D4
- potência: $P = 0,37\text{kW}$;
- redução: $i = 69,33$;
- rotação saída: $n_0 = 24\text{rpm}$;
- torque máximo: $T_{\text{máx}} = 146\text{Nm}$;
- eficiência do redutor: $\eta_{\text{red}} = 94\%$
- tensão: $U = 220/380\text{V}$

De posse do motoredutor, foi verificado se o mesmo teria torque e potência suficientes para rotacionar o tambor enrolador. Para maior segurança as condições estipuladas foram as mais severas, tais como tambor com as maiores dimensões possíveis e girando com rotação máxima. A sequência de cálculos, disposta no apêndice I, comprova que o motoredutor cumpre sua função, pois o sistema requer um torque de 52,5Nm a 24rpm e potência de entrada igual a 0,14kW.

4.2.2 Estrutura

O dispositivo automático de soldagem apresenta estrutura simples e robusta. Uma viga laminada perfil “I” W460x68 serve como base. Chapas retangulares, com espessuras de 3/8” e 3/4”, unidas a uma chapa circular de 2” compõem o suporte do mancal de apoio. Um tubo mecânico com diâmetro nominal de $\phi 106 \times \phi 82\text{mm}$ unido a uma chapa com espessura de 3/4” forma o suporte do mancal de encosto. O suporte do motoredutor é constituído da união de chapas com espessuras iguais a 3/8”, essas formam uma base onde é fixado um flange de mesma espessura. Já a sustentação e a mobilidade da tocha de soldagem são obtidas através da fabricação de um dispositivo composto por tubos industriais de diferentes seções quadradas, sendo elas: 35x35mm e 30x30mm, ambos com espessura de parede de 2mm.

Tais materiais foram escolhidos buscando uma configuração que confira extrema rigidez ao sistema, além da estabilidade obtida através da elevada massa linear da viga.

A estrutura não foi ensaiada com métodos numéricos devido às pequenas solicitações exercidas sobre o sistema em relação à resistência dos materiais empregados na construção do dispositivo. Essas solicitações são basicamente oriundas da força peso e do modo de fixação do tambor enrolador.

A figura 4.3 representa a estrutura do dispositivo automático de soldagem, onde pode-se observar a base (em azul), e os suportes dos mancais (em amarelo), do motoredutor (em verde) e da tocha de soldagem (em cinza).

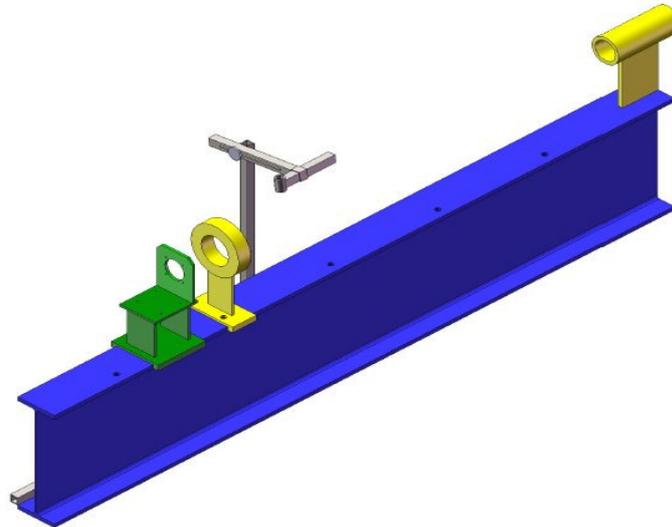


Figura 4.3 – Estrutura do dispositivo automático de soldagem

4.2.3 Seleção de Rolamentos

Os rolamentos utilizados nos mancais de apoio e de encosto foram escolhidos de acordo com os esforços a serem suportados. Também foi analisado o diâmetro interno de cada rolamento, pois o eixo do tambor enrolador necessita ser acoplado diretamente ao rolamento do mancal de apoio. No mancal de apoio foi utilizado um rolamento, enquanto no mancal de encosto é necessário um par, todos axiais de esferas. Tal escolha foi feita em função de haver um maior esforço axial devido ao modo de fixação do tambor enrolador.

Sendo os esforços pequenos e a rotação do sistema baixa, a vida útil dos rolamentos não foi considerada, pois levaria a elementos muito pequenos, logo o fator dimensional foi determinante.

4.2.4 Sistema de Controle

O controle do dispositivo baseia-se no comando do motoredutor. Um painel elétrico é instalado junto ao suporte do mesmo, nele são alocados componentes como: chave geral liga/desliga, chave seleção, potenciômetro e conversor de frequência.

Primeiramente o operador alimenta eletricamente o sistema através da chave liga/desliga. Em seguida, por meio do potenciômetro acoplado ao conversor, faz o ajuste da frequência disponibilizada ao motoredutor e, conseqüentemente, da sua rotação. Num último momento, faz-se a escolha do sentido de giro, e através da chave seleção o sistema é colocado em funcionamento. Cabe lembrar que o potenciômetro possibilita a variação da rotação em qualquer momento da operação.

O conversor de frequência adotado foi da marca SEW EURODRIVE, modelo Movitrac MCLTPA 0082B1-1-00, com potência de 0,75kW e tensão de 220V. Também foi utilizado um potenciômetro de 10 k Ω .

A interface com o usuário é realizada através das chaves (liga/desliga e seleção), do potenciômetro e de um mostrador encontrado no conversor, que informa a rotação do motoredutor (em rpm).

Para melhor entendimento do sistema elétrico em geral, pode ser encontrado no Apêndice II o diagrama elétrico do dispositivo, bem como vistas ortogonais do painel elétrico.

4.2.5 Modelo Virtual

O projeto do dispositivo automático de soldagem procura desenvolver um equipamento que possua características fundamentais como: de simples fabricação e montagem, baixo custo durante a fabricação e operação, robustez de sua estrutura, de fácil operação e interação com o usuário. Atributos como aparência e massa reduzida não foram fatores determinantes na elaboração do projeto. Através das figuras 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7 é possível visualizar as vistas ortogonais e a isométrica do dispositivo automático de soldagem em sua forma final.

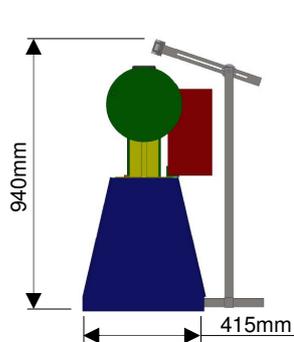


Figura 4.4 – Vista ortogonal lateral

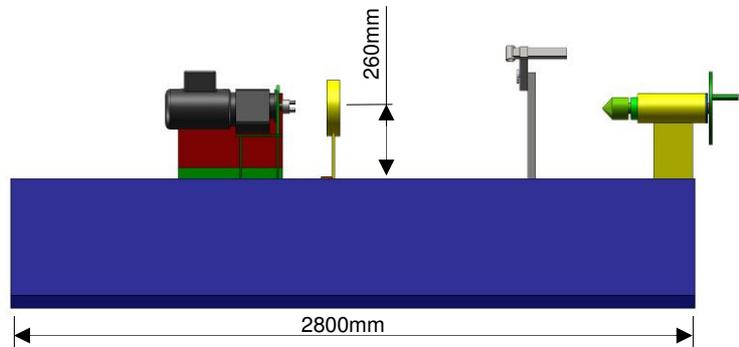


Figura 4.5 – Vista ortogonal frontal

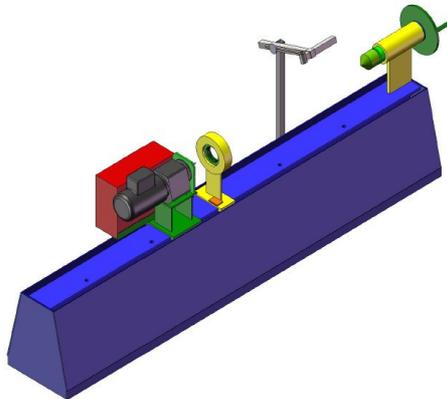


Figura 4.6 – Vista isométrica

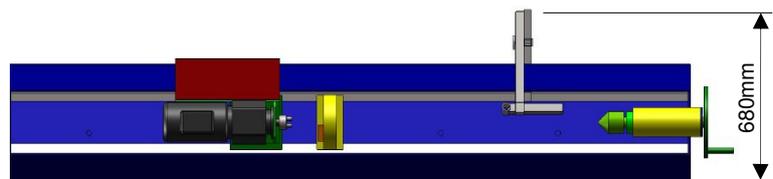


Figura 4.7 – Vista ortogonal superior

4.3 Fabricação e Montagem do Protótipo

A etapa de fabricação da estrutura (base e suportes) acontece na própria fábrica e baseia-se em processos básicos de corte e soldagem de materiais. No entanto, algumas peças como alojamento dos mancais, fuso sem-fim, ponteiras (contraponto e redutor), são fabricadas (usinadas) por terceiros.

Tendo em mãos todas as peças (padrão e especiais) e estando pronta a estrutura, é efetuada a montagem dos mancais, para posteriormente serem alocados nos seus suportes. Em seguida fixa-se o motoredutor no flange contido no suporte da estrutura. Num último momento é realizada a montagem do painel elétrico com seus devidos componentes. O painel é então fixado junto ao suporte do motoredutor, com isso é possível conectá-lo ao mesmo e finalizar a montagem do equipamento.

4.4 Operação do Sistema

O dispositivo automático de soldagem visa ganhos tanto na qualidade das juntas quanto na produtividade dos tambores enroladores. Para isso necessita-se que sejam previamente estabelecidos os parâmetros de soldagem, compreendidos pela tensão (V), corrente (A) e velocidade de soldagem (mm/s). A velocidade, no caso do dispositivo automático, precisa ser convertida em rotações (rpm) impostas ao tambor enrolador.

Devido às diferentes configurações dos tambores, diâmetros e tipos das juntas, faz-se necessário a dedução de uma equação que relacione a velocidade tangencial e o diâmetro do tambor enrolador, fornecendo diretamente a rotação a ser ajustada através do potenciômetro e

disposta ao motor. A equação 4.1 cumpre tais requisitos e é obtida por meio de equações cinemáticas combinadas entre si e com a redução do redutor ($i = 69,33$).

$$n = \frac{60.V}{D.\pi} . 69,33 = \frac{4159,8.V}{D.\pi} \quad (4.1)$$

onde n é a rotação do motor (em rpm), V a velocidade de soldagem (em mm/s) e D o diâmetro do tambor enrolador (em mm).

Através da utilização de tabelas já existentes na literatura, contendo procedimentos sugeridos de soldagem, em conjunto com a equação 4.1, é possível executar testes para ajustes e estabelecer os procedimentos de soldagem considerados ideais para cada configuração de tambor enrolador.

5. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

5.1 Materiais e Métodos

O processo de soldagem automatizado, quando comparado ao semi-automático, propicia um maior controle sobre os parâmetros envolvidos. A influência desses sobre a qualidade das juntas obtidas foi avaliada comparando amostras de cordões confeccionados em ambos os processos.

5.1.1 Corpo de Prova

Um tambor enrolador foi construído para uso específico neste experimento, servindo como corpo de prova para a retirada das amostras das juntas soldadas em estudo. Na sua construção foram utilizados os seguintes materiais:

- um tubo mecânico laminado Vmec 134 com diâmetro nominal externo de 212mm, parede de 18,3mm e 320mm de comprimento;
- duas chapas de aço carbono ASTM A-36 com diâmetro de 210mm e espessura de 1/2”;
- uma barra redonda laminada de aço SAE 1020 com diâmetro de 2” e comprimento de 63mm.

Para melhor aproveitamento do experimento, o tubo mecânico foi seccionado transversalmente em três, com isso um número maior de amostras pode ser analisado. Essas seções, juntamente com as chapas e a barra redonda, foram encaminhadas a uma empresa terceira para a realização do processo de usinagem. Esse consiste, mediante os desenhos técnicos enviados juntamente com os materiais, em realizar os chanfros e encaixes necessários para que a junta possua uma boa geometria, bem como perfeito acoplamento entre as peças. O diâmetro do tambor após usinagem foi de 208mm. A figura 5.1 mostra um corte explodido do tambor enrolador, onde podem ser visualizadas as partes a serem acopladas e unidas através do processo de soldagem em questão, sendo elas as seções do tubo (1-A, 1-B e 1-C), a lateral lisa (2) e o conjunto lateral/eixo (3/4).

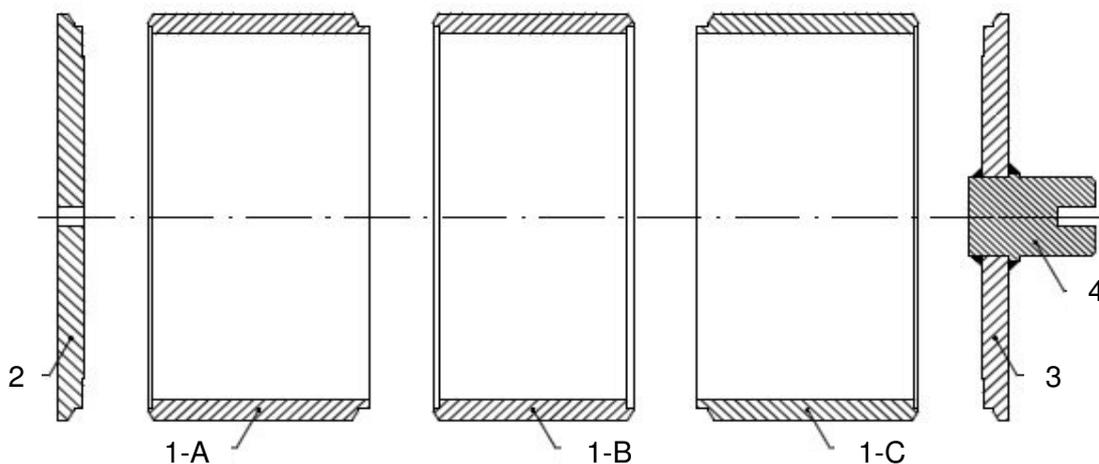


Figura 5.1 – Corte explodido do tambor enrolador

As uniões em estudo possuem as seguintes características: juntas soldadas à topo, chanfros do tipo V – com nariz e utilizando cobre-juntas. Tais configurações geométricas foram obtidas de projetos semelhantes utilizados pela fábrica na construção de tambores enroladores. A figura 5.2 exibe detalhes em corte das geometrias das juntas soldadas, que equivalem à união de chapas com espessuras de 6,5mm, empregando ângulo de chanfro de 60°, abertura de raiz de 2,4mm e altura do nariz igual a 1,5mm.

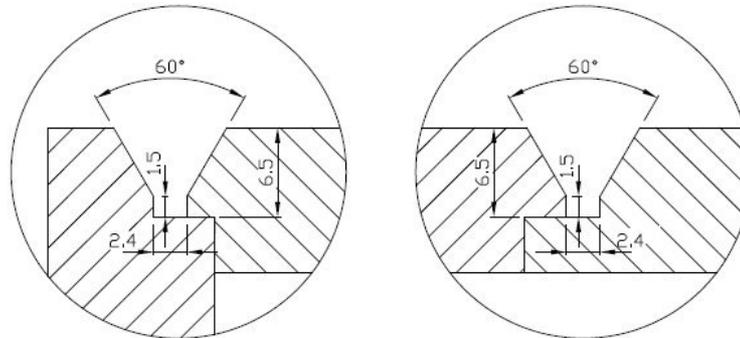


Figura 5.2 – Detalhes em corte das geometrias das juntas soldadas

5.1.2 Processo de Soldagem

Foi utilizada neste experimento uma fonte de soldagem MIG/MAG marca Merkle/Balmer, modelo MB450LD, linha industrial de 450A, com ciclo de operação de 60% (10 min.). Mais informações sobre o equipamento encontram-se no anexo 2.

Como metal de adição utilizou-se o arame sólido de aço com baixo teor de carbono, diâmetro de 1,2mm, de classificação ER70S-6, conforme especificação AWS A5.18 (2001). Já a proteção gasosa necessária foi obtida através do uso da mistura Ar + CO₂ (composição aproximada: Ar - 75% e CO₂ - 25%), caracterizando o processo MAG (*Metal Active Gas*) de soldagem.

Os cordões de solda foram confeccionados na posição “1G” (plana girando o tubo), conforme posições de soldagem convencionadas pela AWS D1.1 (2002). Nesse procedimento foi utilizada a técnica de soldagem puxando, na qual a tocha é posicionada de tal modo que o arame seja alimentado no sentido oposto ao do deslocamento do tubo.

5.1.3 Condução dos Experimentos

Na primeira etapa foi feita a soldagem semi-automática das duas primeiras juntas, de onde foi retirado um corpo de prova de cada. Tais juntas foram confeccionadas da maneira habitual do soldador, ou seja, sem procedimento previamente estabelecido ou local apropriado para sua realização. A figura 5.3 mostra o soldador devidamente posicionado para a execução da tarefa.



Figura 5.3 – Tambor enrolador posicionado sobre a bancada

Na segunda etapa, através do dispositivo automático, foi feita a soldagem das duas juntas restantes. Cada uma foi dividida em quatro partes iguais, totalizando oito corpos de prova e dessa forma pode-se variar os parâmetros em busca da condição ideal. Também foram testados alguns parâmetros na superfície do tubo para possibilitar uma prévia visualização dos cordões. Através da figura 5.4 pode-se visualizar o tambor enrolador e a tocha de soldagem já posicionados no dispositivo.



Figura 5.4 – Tambor enrolador posicionado no dispositivo automático de soldagem

Antes do início do processo semi-automático foram obtidos alguns dados como: vazão do gás de proteção, velocidade de alimentação do arame (W), ângulo entre a tocha e a normal do tubo no sentido longitudinal ao cordão e extensão do eletrodo (*stick-out*). Durante o procedimento obteve-se o tempo de arco aberto (*tempo A.A.*), a corrente (I) e a tensão (U). Já no processo automatizado, essas variáveis foram previamente definidas juntamente com a velocidade de soldagem (V) obtida mediante a rotação (n) do tambor enrolador. A tabela 5.1 mostra esses dados, onde os corpos de prova 1 e 2 provém da soldagem semi-automática e os demais da automatizada.

Tabela 5.1 – Procedimentos de Soldagem

CP	Vazão (l/min)	W (m/min)	I (A)	U (V)	n (rpm)	V (mm/s)	Stick Out (mm)	Ângulo (°)	Tempo A.A. (s)
1	12	5,5	215 - 230	21 - 22		7,8	~ 13	45	59 + 25
2	12	6,5	230 - 245	20 - 21		5,8	~ 13	45	80 + 32
3	13	5,7	235 - 240	21	45	7,0	10	15	40
4	13	7,0	255 - 260	22	45	7,0	10	15	23
5	13	7,0	255 - 260	22	36	5,6	10	15	28
6	13	7,0	255 - 260	22	26	4,1	10	15	36
7	13	6,0	245 - 250	21	29	4,5	7	15	37
8	13	8,0	280 - 285	21	29	4,5	7	15	32
9	13	5,7	225 - 230	21	29	4,5	10	15	30
10	13	7,0	245 - 250	21	24	3,7	10	15	37

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Inspeção Visual e Macrografia

Após a realização dos procedimentos de soldagem, semi-automático e automático, o tambor enrolador (figura 6.1) foi inspecionado visualmente a fim de apontar as juntas passíveis de serem descartadas e os defeitos de soldagem presentes nos cordões restantes.



Figura 6.1 – Tambor enrolador – corpo de prova

Foram escolhidos e analisados quatro corpos de provas dentro dos dez existentes, esses são designados com os números 1, 2, 6 e 10. Dois deles, 1 e 2, tiveram a soldagem confeccionada de modo semi-automático, nos demais foi utilizado o dispositivo automático de soldagem.

A análise macrográfica dos corpos de provas selecionados ocorreu nas dependências do Laboratório de Soldagem & Técnicas Conexas (LS&TC) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Lá os corpos de prova foram lixados, atacados quimicamente com Nital 5% e posteriormente fotografados. Através das figuras 6.2, 6.3, 6.4 e 6.5 podem ser visualizados os resultados das análises referentes aos corpos de provas de números 1, 2, 6 e 10, respectivamente. O índice (a) corresponde às fotografias utilizadas durante a inspeção visual e (b), às macrografias dos cordões em estudo.

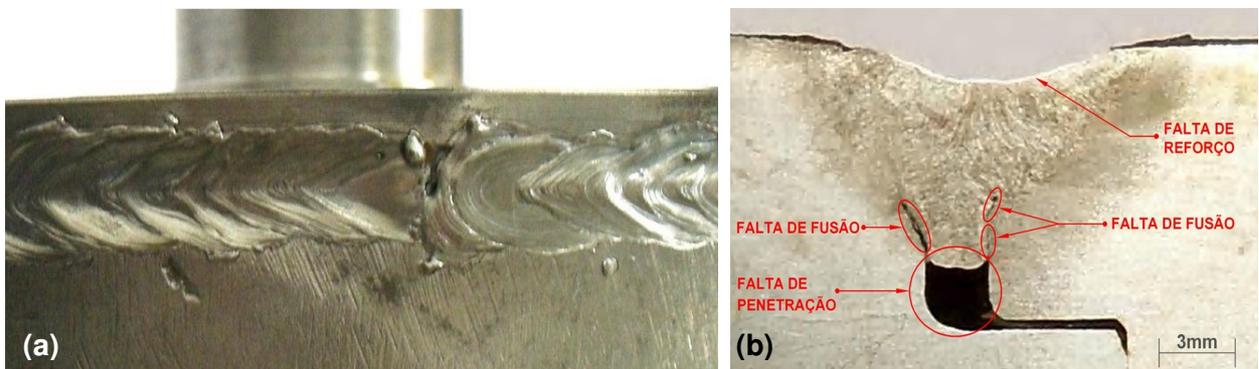


Figura 6.2 – Tambor enrolador – corpo de prova 1. a) inspeção visual; b) análise macrográfica

A figura 6,2-a mostra um cordão de solda com aspecto desfavorável e não-uniforme, apresentando descontinuidades e porosidades. Na figura 6.2-b podem ser observadas três regiões com falta de fusão e uma grande região com falta de penetração no metal base, além da falta de preenchimento no topo do cordão.

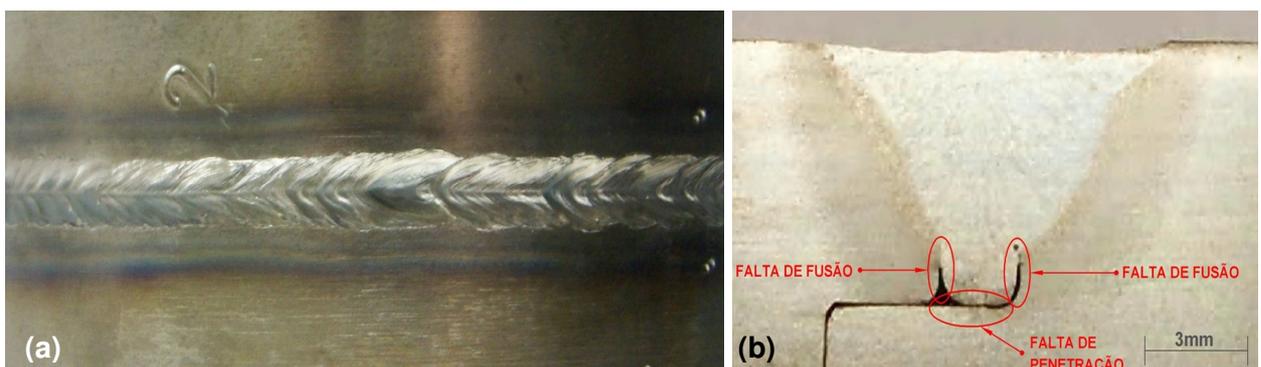


Figura 6.3 – Tambor enrolador – corpo de prova 2. a) inspeção visual; b) análise macrográfica

A figura 6.3-a mostra um cordão de solda aparentemente semelhante ao do corpo de prova 1. No entanto, percebe-se através da figura 6.3-b uma significativa melhora quanto à fusão e penetração no metal base. Nota-se também que ocorreu maior taxa de deposição do metal de adição, pois o cordão encontra-se aproximadamente na linha do metal base.

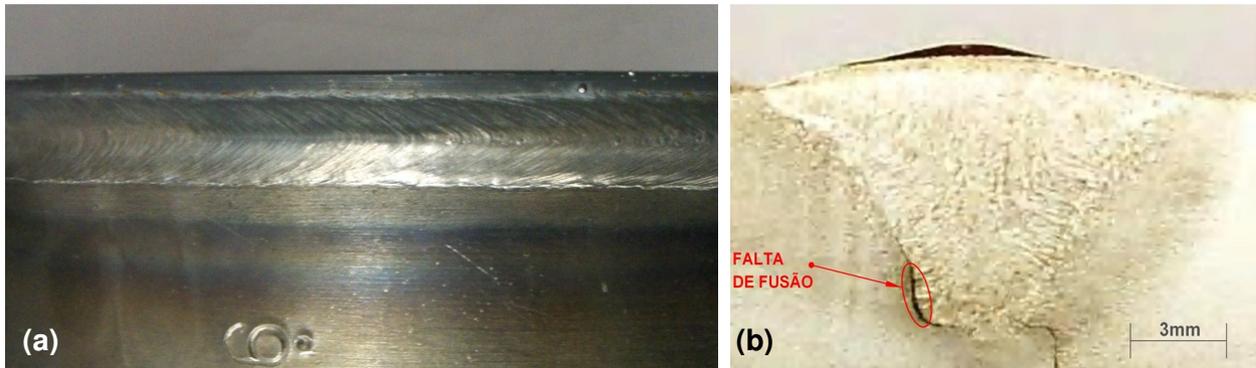


Figura 6.4 – Tambor enrolador – corpo de prova 6. a) inspeção visual; b) análise macrográfica

A inspeção visual do corpo de prova 6 (figura 6.4-a) mostra um cordão de solda uniforme e sem defeitos aparentes, porém, através da análise macrográfica (figura 6.4-b), pode-se visualizar uma região com falta de fusão do metal base. Percebe-se também a presença de reforço no cordão, o que não ocorreu nos corpos de prova 1 e 2.

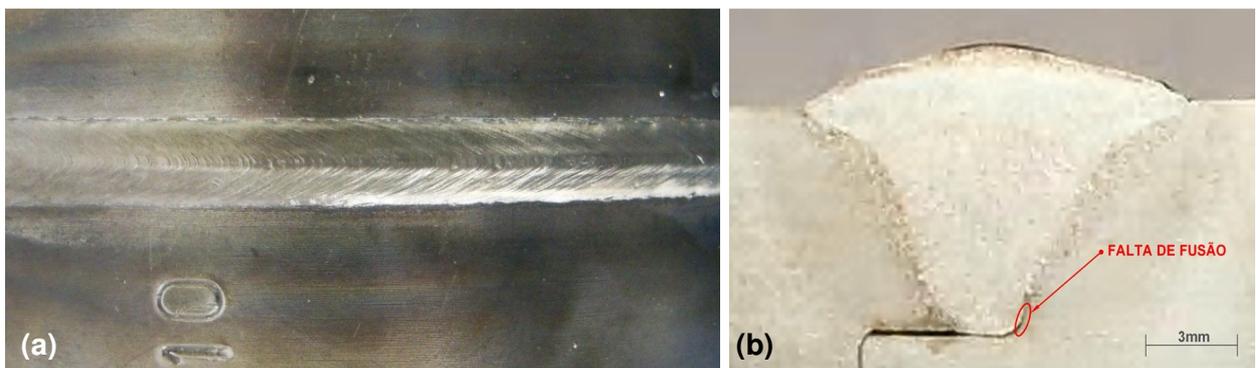


Figura 6.5 – Tambor enrolador – corpo de prova 10. a) inspeção visual; b) análise macrográfica

O corpo de prova 10 apresenta um cordão de solda com aspectos semelhantes aos do corpo de prova 6, contudo pode ser visualizada na figura 6.5-b uma pequena região com falta de fusão do metal base.

Ao comparar as figuras 6.2 e 6.3 às figuras 6.4 e 6.5, nota-se uma evolução significativa quanto à qualidade das juntas soldadas, fato evidenciado pela melhoria do aspecto, presença de reforço e defeitos do cordão de solda minimizados ou quase inexistentes.

6.2 Custos de Soldagem

Através da estimativa dos custos do processo de soldagem pode-se também analisar a produtividade dos tambores enroladores e com isso fazer uma melhor comparação entre os procedimentos em questão. Foram consideradas despesas com energia elétrica, metal de adição (arame), gás de proteção e mão-de-obra do operador na soldagem de um tambor enrolador (duas juntas). As informações referentes aos custos dessas variáveis foram colhidas nos devidos setores da fábrica. Os dados técnicos foram coletados durante o procedimento experimental, tratando-se de variáveis como: tempos de *setup*, tempo de arco aberto e parâmetros de soldagem. Os dados pertinentes a cada processo, semi-automático e automático, foram adquiridos dos corpos de prova 2 e 10, respectivamente. Etapas do *setup*, tabelas contendo parâmetros de soldagem, tempos e custos envolvidos podem ser encontradas no apêndice III.

A tabela 6.1 expõe os custos e o tempo requeridos para o processo de soldagem de um tambor enrolador. No caso, trata-se de um exemplar com as características do tambor utilizado como corpo de prova para o experimento.

Tabela 6.1 – Resultado da Estimativa dos Custos/Produtividade

Processo de Soldagem	Custo Total	Tempo Total
Semi-automático	R\$ 3,91	9' 46"
Automático	R\$ 4,52	8' 01"

Analisando a tabela 6.1 nota-se que no processo automatizado ocorreu um acréscimo de 13% sobre o custo da soldagem. No entanto, sua produtividade aumentou em 18% quando comparados ao processo semi-automático.

7. CONCLUSÕES

Partindo da análise e discussão dos resultados pode-se concluir que os objetivos do dispositivo automático de soldagem foram alcançados. Por tratar-se de um sistema automatizado, esse proporcionou um total controle dos parâmetros de soldagem, além de conferir repetibilidade ao processo, resultando assim em juntas com qualidade superior às confeccionadas de modo semi-automático.

Houve ainda melhora significativa quanto à produtividade, fato devido ao fácil modo de fixação e posicionamento do tambor e da tocha MIG/MAG no dispositivo, reduzindo assim o tempo de *setup*.

Quanto ao custo, maior em relação ao processo semi-automático, vale salientar que o dispositivo automático de soldagem está em fase de implantação e as macrografias mostraram que é possível aumentar a corrente e a velocidade de soldagem, o que reduziria substancialmente o custo e aumentaria ainda mais a produtividade.

Para trabalhos futuros poderiam ser realizadas alterações no sistema de fixação da tocha ao dispositivo automático de soldagem, visando permitir que o processo de união dos eixos às laterais do tambor também fossem confeccionados com o uso do sistema automatizado de soldagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AWS, **Specification for Carbon Steel Electrodes and Rods for Gas Shielded Arc Welding**, AWS A5.18, 2001.

AWS, **Structural Welding Code - Steel**, AWS D1.1, 2002.

Arima, G.; Dutra, J.C.; “**Desenvolvimento de um Cabeçote Orbital para Soldagem TIG de Tubos**”, Bol. Téc. Petrobras/RJ, vol. 46 (1/2), pp 38-55, 2003.

Hibbeler, R.C.; “**Dinâmica: Mecânica para Engenharia**”, Pearson, 10ª edição, 2005.

Machado, I. G.; “**Soldagem e Técnicas Conexas: Processos**”, editado pelo autor, 1996.

Shigley, J.E; Mishke, C.R.; “**Projeto de Engenharia Mecânica**”, Bookman, 7ª edição, 2005.

Tremonti, M. A.; “**Incorporar a Robótica Aplicada à Soldagem: as Questões Organizacionais para se Obter Sucesso**”, Bol. Téc. FATEC/SP, vol. 09, pp 01-10, 2000.

Tusset, A. M.; “**Análise Comparativa entre a Solda MIG Robotizada e a Solda MIG Manual Através da Análise de Variância**”, 7º Congresso Temático de Dinâmica, Controle e Aplicações - UNESP, Área 6, pp 01-07, 2008.

ANEXO I – DADOS TÉCNICOS DO MOTOREDUTOR

R..DR/DZ/DX
R..D.. [kW]

8

P_m [kW]	n_a [rpm]	M_a [Nm]	i	$F_{Ra}^{(1)}$ [N]	SEW f_B			m [kg]	\llcorner		
0,37	8,6	410	195,24*	12500	2,0	R	77	DZ	71D4	38	230
	10	350	166,59	12700	2,3	RF	77	DZ	71D4	44	231
	6,0	585	137,67	7720	1,00	R	67	DZ	90S8	40	228
	6,4	550	128,97	8120	1,10	RF	67	DZ	90S8	43	229
	7,3	485	113,94	8710	1,25						
	6,8	515	158,14	8430	1,15	R	67	DZ	80N6	36	228
	7,8	450	137,67	8990	1,35	RF	67	DZ	80N6	39	229
	8,4	420	199,81	9200	1,45						
	9,1	385	184,07	9420	1,55						
	11	335	158,14	9730	1,80	R	67	DZ	71D4	33	228
	12	290	137,67	9930	2,1	RF	67	DZ	71D4	36	229
	13	270	128,97	10000	2,2						
	15	240	113,94	10100	2,5						
	7,3	485	147,92	6950	0,95	R	57	DZ	80N6	29	226
	8,4	420	128,77	7230	1,05	RF	57	DZ	80N6	33	227
	9,0	395	186,89	7330	1,15						
	9,8	360	172,17	7440	1,25						
	11	310	147,92	7600	1,45						
	13	270	128,77	7710	1,65	R	57	DZ	71D4	27	226
	14	255	120,63	7750	1,75	RF	57	DZ	71D4	30	227
	16	225	106,58	7810	2,0						
	17	210	98,99	7840	2,2						
	19	189	89,71	7870	2,4						
	10	345	162,94	4430	0,90						
	12	295	139,99	5450	1,00						
	14	255	121,87	5630	1,15						
	15	240	114,17	5700	1,25						
	17	210	100,86	5810	1,40						
	18	197	93,68	5860	1,50	R	47	DZ	71D4	21	224
	20	179	84,90	5920	1,70	RF	47	DZ	71D4	21	225
	22	160	76,23	5970	1,85						
	25	144	68,54	6010	2,1						
	26	135	64,21	5990	2,2						
	30	119	56,73	5780	2,5						
	16	220	105,28	4650	0,90						
	19	191	90,77	5060	1,05						
	20	178	84,61	5200	1,10						
	23	156	73,96	5420	1,30						
	24	146	69,33	5510	1,35						
	27	129	61,18	5640	1,55	R	37	DZ	71D4	17	222
	30	117	55,76	5510	1,70	RF	37	DZ	71D4	18	223
	35	101	48,08	5300	2,0						
	37	94	44,81	5200	2,1						
	43	82	39,17	5000	2,4						
	46	77	36,72	4910	2,6						
	23	156	74,11	3870	0,85						
	24	146	69,47	3820	0,90						
	27	129	61,30	3720	1,00						
30	118	55,87	3640	1,10							
35	101	48,17	3520	1,30							
37	94	44,90	3460	1,40	R	27	DZ	71D4	11	220	
43	83	39,25	3340	1,60	RF	27	DZ	71D4	11	221	
46	77	36,79	3290	1,70							
52	68	32,47	3180	1,90							
58	61	28,78	3080	2,2							
69	52	24,47	2950	2,5							
59	60	28,37	3070	2,2	R	27	DZ	71D4	11	220	
64	55	26,09	3000	2,4	RF	27	DZ	71D4	10	221	
38	93	28,32	1260	0,90	R	17	DZ	80N6	13	218	
45	79	24,07	1900	1,10	RF	17	DZ	80N6	13	219	
35	100	47,44	695	0,85							
38	93	44,18	1240	0,90							
44	81	38,61	1910	1,05							
46	76	36,20	1890	1,10	R	17	DZ	71D4	9,2	218	
53	67	31,94	1850	1,25	RF	17	DZ	71D4	9,1	219	
59	60	28,32	1820	1,45							
70	51	24,07	1760	1,70							

8

ANEXO I – DADOS DIMENSIONAIS DO MOTOREDUTOR

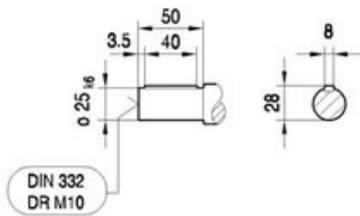
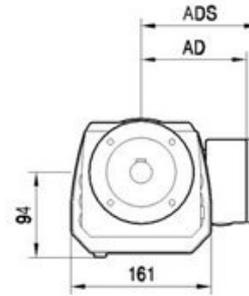
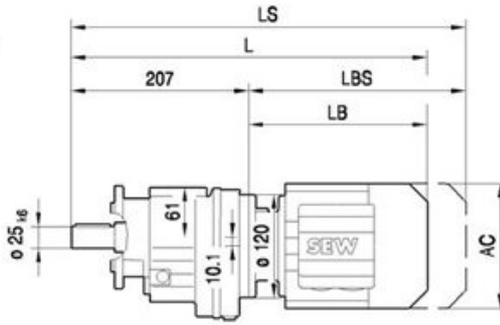
R..DR/DZ/DX
R.. [mm]



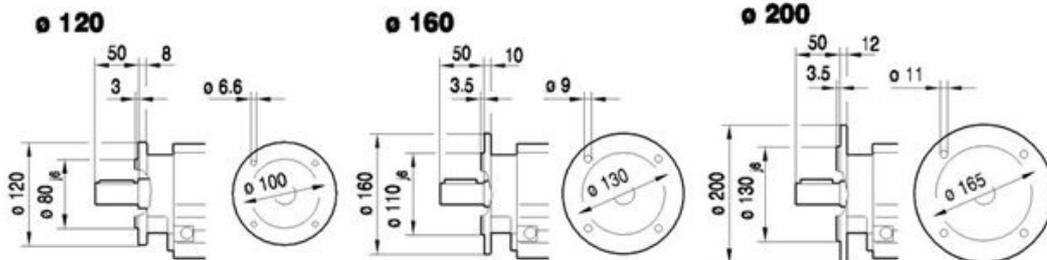
8

RF37..

04 016 03 00



8



(→ 102)	DZ71..	DZ80..	DZ90..	DZ100..				
AC	145	145	197	197				
AD	122	122	154	166				
ADS	127	127	161	166				
L	413	463	483	565				
LS	476	526	568	650				
LB	206	256	276	358				
LBS	269	319	361	443				



MIG-MAG MB 450 D/DW

Fonte de soldagem MIG-MAG

Linha Industrial - MB 450 D/DW



Merkle-Balmer



Linha Nacional e Internacional Merkle

- Fontes de soldagem MIG-MAG
- Fontes de soldagem MIG pulsadas
- Fontes de soldagem TIG DC
- Fontes de soldagem TIG AC/DC
- Fontes de soldagem por plasma
- Fontes de corte por plasma
- Fontes retificadores
- Fontes para solda pino – *Stud welding*
- Módulos para automação
- Robótica

MB 450 DW, com alimentador DV-25 externo

MB 450 D/DW: FONTE DE SOLDAGEM MIG-MAG

- MB 450 D/DW: Fonte industrial de 450 A – 60% (10 min); 400 A – 100%
- Máquina MIG-MAG industrial com alimentador externo e proteção da bobina do arame
- Regulagem exata através de 39 faixas de trabalho
- Modo de operação: 2 tempos/4 tempos/Solda intermitente/ponteamto
- Regulagem da re-queima do arame (*burn-back*)
- Abertura do arco com velocidade do areme reduzida - *Soft Start*
- Sistema de alimentação do arame com 4 roletes de alto desempenho, modelo DV-25
- Velocidade do arame de 0,5 a 25 m/min
- Saída para duas indutâncias: 60% e 100%
- Conexão central para a tocha, tipo Euro-conector
- Cabo-obra com plug de encaixe rápido
- Suporte rebaixado para cilindro de gás (10 l, 20 l, 50 l)
- Proteção térmica para transformador e retificador com indicação no painel



MIG-MAG MB 450 D/DW

➤ Opcionais:

- ❑ Versão DW - Sistema industrial de refrigeração a água para a tocha, integrado na máquina
- ❑ Entrada para aplicação de soldagem com tocha Push-Pull
- ❑ Controle remoto para velocidade do arame
- ❑ Entrada para soldagem automatizada
- ❑ Cabo de comando entre fonte de soldagem e cabeçote de até 25 m

Cabeçote alimentador DV-25:



- Alimentador de 4 roletes tracionados por engrenagens de 0,5 a 25 m/min
- Bitolas de arame: 0,8 / 1,0 / 1,2 / 1,6
- Tracionador de alto desempenho para aço carbômo, aço de alta liga, alumínio, arames tubulares, arames para brasagem MIG
- Cabeçote fechado para proteção total da bobina de arame
- Cabeçote alimentador montado na fonte de soldagem com suporte giratório ou montado de forma suspensa

Sistema de refrigeração a água – Versão DW:

- Sistema de refrigeração a água para a tocha MIG/MAG integrado na máquina
- Controle da refrigeração por pressostato
- Sistema industrial, com vazão [Qmax] de 6 l/min e alturas [Hmax] de 25 m

Aplicação Push-Pull :



- A fonte pode ser equipada com sistema Push-Pull
- Perfeita para soldagens de alumínio com cabo da tocha de 8 m
- Perfeita para soldagens de aço e as respectivas ligas com cabo da tochas de 10 m

ANEXO II – DADOS TÉCNICOS DA FONTE DE SOLDAGEM



MIG-MAG MB 450 D/DW

Dados técnicos MB 450 D/DW:

Primário:		
Tensão U_1	3 x 230 V	3 x 380 V
Freqüência	50/60 Hz	
Potência máxima	9,2 kVA	
Potência nominal	5,6 kVA	
Corrente nominal I_1	14,5 A	8,5 A
Corrente máxima I_1	24,0 A	14,0 A
Fator de potência, cos phi (200 A)	0,8	
Secundário:		
Tensão em vazio U_0	16,5 - 35 V	
Tensão de trabalho U_2	15 - 27,5 V	
Corrente de trabalho I_2	30 - 265 A	
Ciclo de trabalho 250 A	40 % (10 min)	
Ciclo de trabalho 180 A	100 %	
Forma de proteção	IP 21	
Tipo de material de isolamento	H	
Tipo de refrigeração	AF	
Recursos de soldagem	2 passos / 4 passos / intermitente / ponteamento	
Regulagem da tensão	10 faixas de trabalho	
Velocidade do arame	Potenciômetro: 0 a 15 m/min	
Requeima do arame ("burn-back")	Potenciômetro na placa	
Tempo de soldagem	Potenciômetro: 0 a 2,0 s	
Intervalo de soldagem	Potenciômetro: 0 a 2,0 s	
Indicação da máquina ligada / desligada	LED integrado na chave geral do painel	
Indicação de sobre temperatura	LED no painel	
Proteção térmica contra sobrecarga	Proteção térmica no transformador e retificador	
Transformador de potência	Núcleo sólido com bobinamento de cobre	
Norma	Em conformidade com EN 60974-1	
Refrigeração da tocha	Gás de proteção	
Peso	85 kg	
Medidas físicas (c x l x a)	860 x 420 x 705 mm	
Cabo da rede elétrica	4 x 4,0 mm ² , comprimento de 4 m	
Cabo-obra	Com grampo e plug de encaixe rápido, 3 m 25 mm ²	
Sistema de alimentação do arame		
Tensão	26 V-DC	
Avanço de arame	Motor DC com redutor integrado	
	Redutor: Coroa e parafuso sem-fim, faixa de velocidade 0,7 - 15 m/min	
Conexão da tocha	Euro-Conector	

MERKLE – A MELHOR OPÇÃO EM EQUIPAMENTOS DE SOLDAGEM

APÊNDICE I – VERIFICAÇÃO DO TORQUE E POTÊNCIA REQUERIDOS PELO SISTEMA

Num primeiro momento calcula-se, através da equação I.1, o torque requerido pelo sistema [Hibbeler, 2005].

$$T = J_{total} \cdot \alpha \quad (I.1)$$

onde T é o torque, em N/m, o J_{total} é o momento de inércia total, em $kg.m^2$ e α é a aceleração angular do motoredutor, em rad/s^2 , estimada em $1,5 rad/s^2$.

O momento de inércia total (equação I.2) é composto pela soma dos momentos de inércia dos elementos que compõem o sistema.

$$J_{total} = J_t + (2 \cdot J_l) + J_{eo} + J_{em} + J_{mot} \quad (I.2)$$

onde J_t , J_l , J_{eo} e J_{em} referem-se aos momentos de inércia do tubo, laterais, eixo oco e eixo maciço do tambor, respectivamente. Já J_{mot} é atribuído ao motoredutor e é igual a $0,00255 kg.m^2$.

Os momentos de inércia do tubo e eixo oco são obtidos através da equação I.3, já as laterais e o eixo maciço utilizam-se da equação I.4 [Hibbeler, 2005].

$$J = \frac{m}{2} \cdot (r_1^2 + r_2^2) \quad (I.3)$$

onde m é a massa da peça, em kg, r_1 o raio interno e r_2 o raio externo, ambos em m.

$$J = \frac{m}{2} \cdot r^2 \quad (I.4)$$

onde r é o raio da peça, em m.

Os componentes do tambor calculado possuem as seguintes características:

- tubo - $r_1 = 0,228m$, $r_2 = 0,254m$ e $m = 556kg$
- lateral - $r = 0,254m$ e $m = 35kg$
- eixo oco - $r_1 = 0,03m$, $r_2 = 0,0425m$ e $m = 1,5kg$
- eixo maciço - $r = 0,0425m$ e $m = 4,5kg$

Resolvendo as equações I.3 e I.4 obtemos:

$$J_t = \frac{556}{2} \cdot (0,228^2 + 0,254^2) = 32,387kg.m^2$$

$$J_{eo} = \frac{1,5}{2} \cdot (0,03^2 + 0,0425^2) = 0,002kg.m^2$$

$$J_l = \frac{35}{2} \cdot 0,254^2 = 1,129kg.m^2$$

$$J_{em} = \frac{4,5}{2} \cdot 0,0425^2 = 0,004kg.m^2$$

Substituindo os valores encontrados, juntamente com o J_{mot} na equação I.2 temos:

$$J_{total} = 32,387 + (2 \cdot 1,129) + 0,002 + 0,004 + 0,00255 \cong 35kg.m^2$$

Com esse valor podemos encontrar o torque requerido utilizando a equação I.1:

$$T = 35 \cdot 1,5 = 52,5N.m$$

Em seguida faz-se o cálculo da potência de entrada do sistema, obtida através da equação I.5 [Hibbeler, 2005].

APÊNDICE I – VERIFICAÇÃO DO TORQUE E POTÊNCIA REQUERIDOS PELO SISTEMA

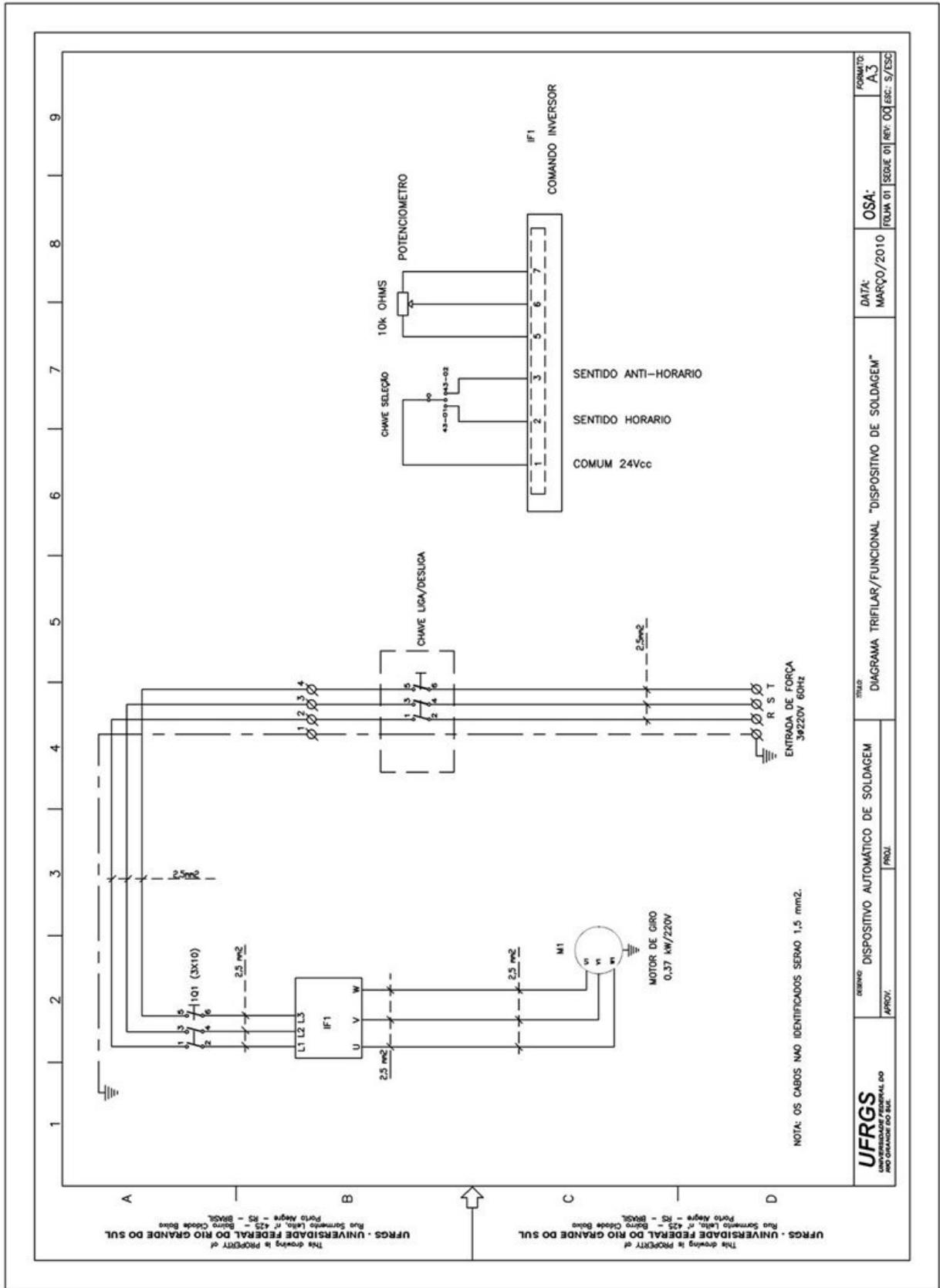
$$P_e = \frac{T \cdot 2 \cdot \pi \cdot n}{\eta \cdot 60} \quad (1.5)$$

onde P_e é a potência de entrada, em W, n a rotação do tambor enrolador, em rpm, e η a eficiência do redutor.

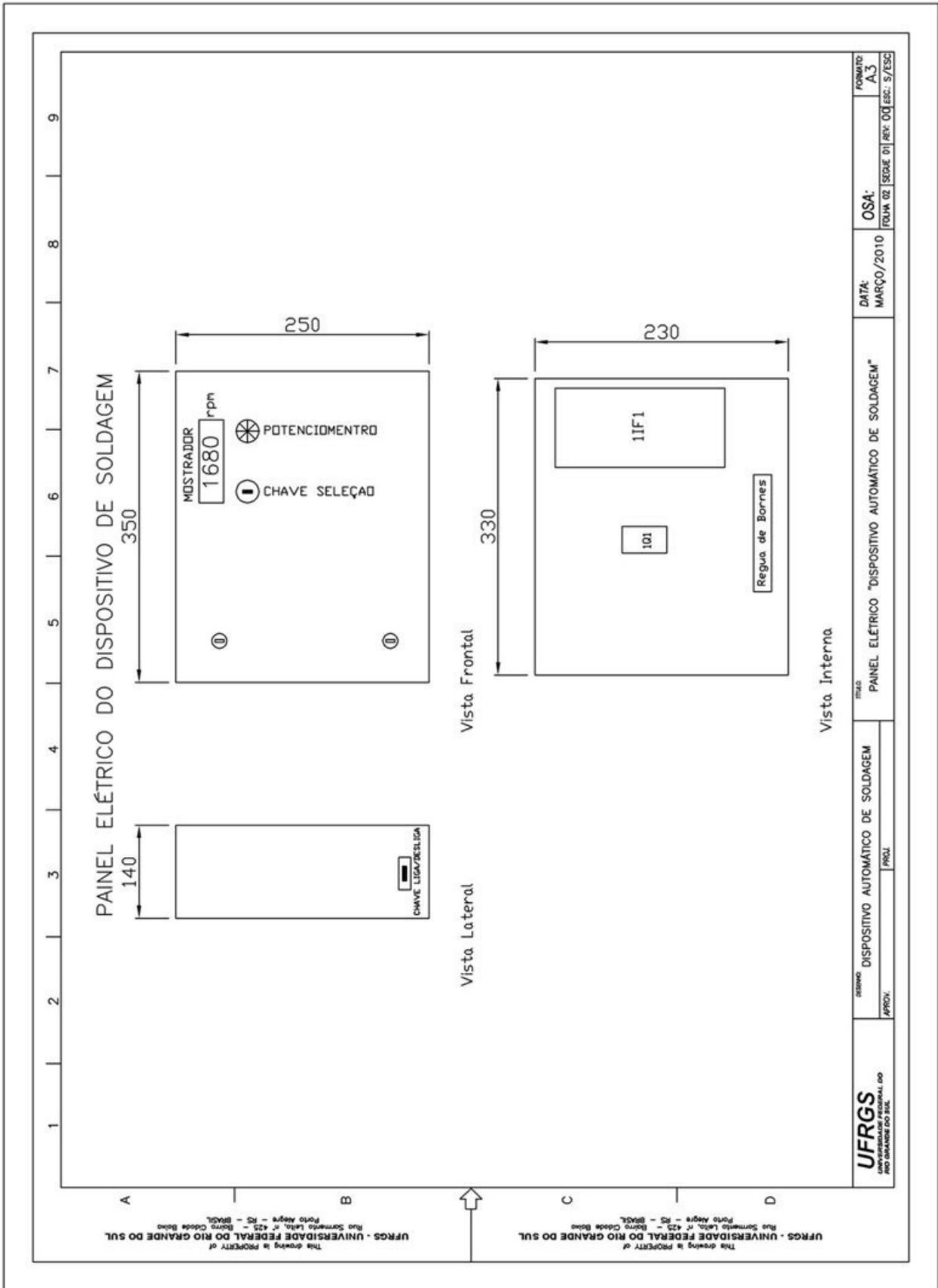
Resolvendo a equação 1.5 obtemos:

$$P_e = \frac{52,5 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 24}{0,94 \cdot 60} = 140W = 0,14kW$$

APÊNDICE II – DIAGRAMA ELÉTRICO DO DISPOSITIVO



APÊNDICE II – VISTAS ORTOGONAIS DO PAINEL ELÉTRICO



APÊNDICE III – CUSTOS DE SOLDAGEM DO TAMBOR ENROLADOR

O procedimento de soldagem do tambor enrolador envolve três fases: *setup* de montagem, soldagem e *setup* de desmontagem do conjunto. Os processos de *setup* envolvem as etapas apresentadas na tabela III.1. As cinco primeiras correspondem ao *setup* de montagem e as restantes ao *setup* de desmontagem do conjunto.

Tabela III.1– Etapas do *Setup*

Etapa	Procedimento Semi-automático	Procedimento Automático
1	transporte das peças até a bancada	transporte das peças até o dispositivo
2	fixação provisória do conjunto utilizando “sargentos”	acoplamento eixo do tambor no mancal de apoio
3	execução de pontos de solda nas duas juntas	fixação do tambor através do contraponto
4	retiradas dos “sargentos”	acoplamento do motoredutor ao tambor
5	posicionamento na bancada	fixação e posicionamento da tocha de soldagem
6	transporte do tambor até o depósito	desacoplamento do motoredutor
7		retirada da tocha de soldagem
8		liberação do contraponto
9		transporte do tambor até o depósito

Os intervalos de tempo necessários para a soldagem e para as etapas do *setup* podem ser encontrados na tabela III.2.

Tabela III.2 – Intervalos de tempo dos processos de soldagem

Fase	Processo Semi-automático	Processo Automático
Setup	6' 02"	3' 05"
Arco Aberto	3' 44"	4' 56"
Total	9' 46"	8' 01"

As tabelas III.3, III.4, III.5 e III.6 mostram detalhes das despesas com energia elétrica, arame, gás de proteção e mão-de-obra, respectivamente.

Tabela III.3 – Custo da Energia Elétrica

Processo	Equipamento	I (A)	U (V)	P (kW)	Tempo (h)	Consumo (kW.h)	Custo/kW.h (R\$)	Custo/tambor (R\$)
Semi-automático	fonte	245	21	5,15	0,06	0,32	R\$ 0,39	R\$ 0,13
Automático	fonte	250	21	5,25	0,08	0,43	R\$ 0,39	R\$ 0,17
	motoredutor			0,37	0,08	0,03	R\$ 0,39	R\$ 0,01
	conversor			0,75	0,08	0,06	R\$ 0,39	R\$ 0,03

Tabela III.4 – Custo do Arame

Processo	W (m/min)	m/kg arame	Tx. deposição (kg/h)	Tempo (h)	Consumo (kg)	Custo/kg (R\$)	Custo/tambor (R\$)
Semi-automático	6,5	111,5	3,50	0,06	0,22	R\$ 5,64	R\$ 1,23
Automático	7	111,5	3,77	0,08	0,31	R\$ 5,64	R\$ 1,75

Tabela III.5 – Custo do Gás de Proteção

Processo	Vazão gás (l/min)	Tempo (min)	Consumo (m³)	Custo/m³ (R\$)	Custo/tambor (R\$)
Semi-automático	12	3,73	0,04	R\$ 17,00	R\$ 0,76
Automático	13	4,93	0,06	R\$ 17,00	R\$ 1,09

Tabela III.6 – Custo da Mão-de-obra

Processo	Custo homem/hora (R\$)	Tempo (h)	Custo/tambor (R\$)
Semi-automático	R\$ 11,00	0,16	R\$ 1,79
Automático	R\$ 11,00	0,13	R\$ 1,47