

# Controle de Posição em um Eixo Roscado

**Prof. Dr.-Ing. Walter Lindolfo Weingaertner**  
wlw@emc.ufsc.br  
UFSC

**Artur Schütz Ferreira**  
artur\_schutz@hotmail.com  
UFSC

**Allan Oliveira da Silva**  
aos@labmetro.ufsc.br  
UFSC

**Larissa de Carvalho Tavares Santana**  
lts@labmetro.ufsc.br  
UFSC

**Resumo:** Para ser competitivo comercialmente e ambientalmente correto, atualmente existe a necessidade da constante evolução nos automóveis buscando aumentar sua durabilidade, eficiência e diminuir a emissão de gases poluentes. Para esse objetivo, existem processos como o Roleteamento Profundo em Virabrequins (Crankshaft Deep-rolling, Galetage de Vilebrequin, Kurbelwelle Festwalzen) que consiste basicamente no trabalho de aumentar a durabilidade de um virabrequim através da conformação mecânica de camadas próximas à superfície através de roletes. Neste processo, o braço articulado que abraça o virabrequim apresenta uma movimentação horizontal que atualmente é feita manualmente. Assim, este trabalho apresenta a proposta para automatizar a atual movimentação desse braço articulado preso ao eixo roscado especialmente posicionado para a instalação de um motor. O sistema de controle proposto é baseado em um conjunto servomotor e servoconversor existente no mercado, dando além de maior comodidade, uma maior precisão de posicionamento, necessária devido as características de acabamento deste processo. A execução do projeto foi dividida nas seguintes etapas: estudo dos equipamentos, montagem mecânica, montagem elétrica e programação do controle e testes finais. O sistema instalado mostrou-se adequado ao seu objetivo, atingindo uma movimentação horizontal de um milímetro através dos parâmetros setados na programação em Ladder realizada no servoconversor.

**Palavras Chave:** Controle - eixo roscado - roleteamento - virabrequim -

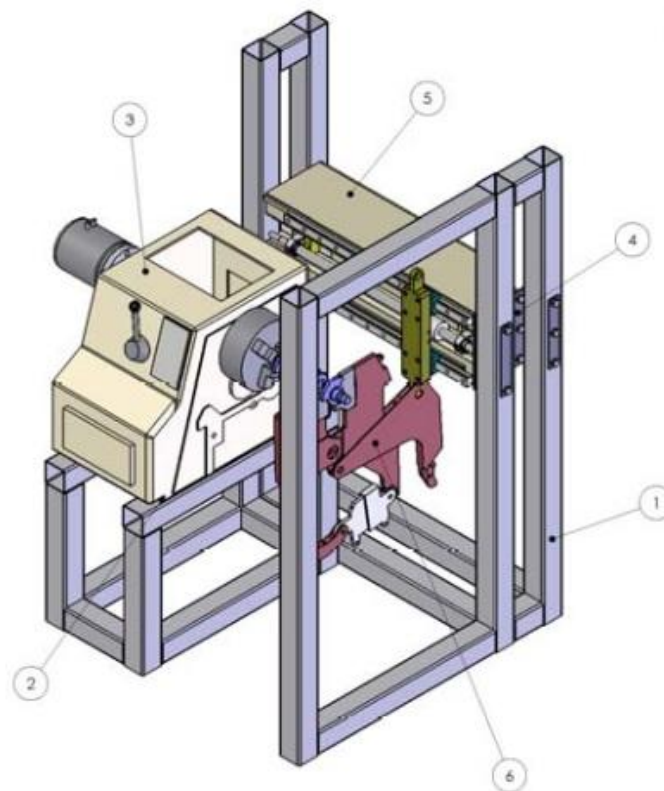


## 1. INTRODUÇÃO

Diversos processos atualmente são utilizados para evitar o colapso de elementos mecânicos com grandes variações em seu formato ou com irregularidades na sua micro-estrutura, como por exemplo, o virabrequim, principalmente devido a solicitações dinâmicas, contínuas e por longos períodos de tempo. Alguns exemplos de tratamentos térmicos ou mecânicos são: nitretação, forjamento, cementação, roleteamento, entre outros (CASARIN, J. J.).

Dentro as diversas fases de fabricação de virabrequins, uma etapa complementar de sua formação evidencia-se pela grande vantagem decorrente de seu uso, o roleteamento profundo. Este método de conformação mecânica consiste em introduzir tensões residuais compressivas em camadas próximas à superfície de componentes, nesse caso em um virabrequim, visando a elevação da dureza e resistência mecânica da região conformada devido ao encruamento da micro-estrutura do material e, em consequência disso, o aumento no tempo de vida do virabrequim (CASARIN, J. J.).

Visando avaliar a influência da força de roleteamento e das características do material utilizado, um dispositivo foi construído no Laboratório de Mecânica da Precisão da Universidade Federal de Santa Catarina com o objetivo ser usado em ensaios práticos de roleteamento. O dispositivo, apresentado abaixo na figura 1, é composto por uma estrutura metálica para o suporte do maquinário utilizado (1), uma base de apoio da caixa de reduções (2), uma caixa de redução do torno (3), chapas de união da base com a estrutura (4), base sustentadora do braço (5) e o braço articulado de roleteamento (6). Além disso, o equipamento conta com uma válvula proporcional direcional, guias lineares e uma guia de esferas recirculantes no eixo roscado para a movimentação do braço articulado, ferramentas de roleteamento, acionamento elétrico e um sistema hidráulico de alta pressão para a aplicação das forças de roleteamento.



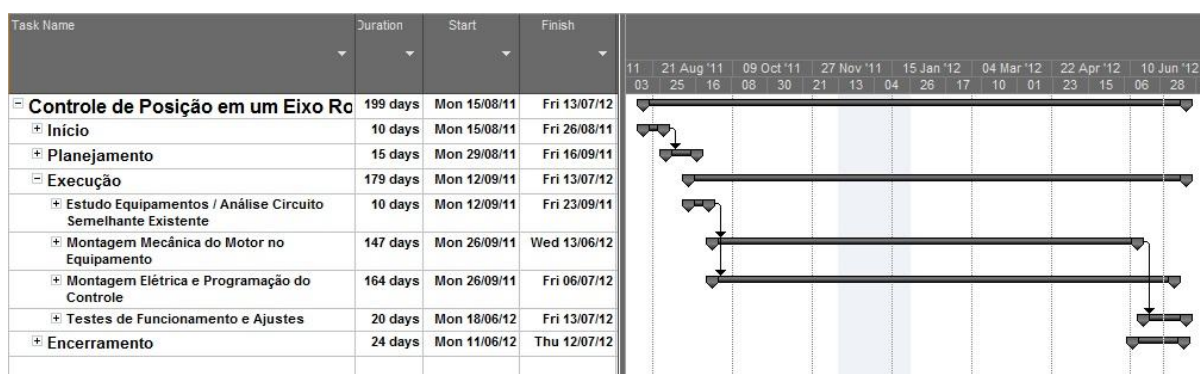
**Figura 1** – Dispositivo para ensaios práticos de roleteamento.

Para uma automatização do processo de roleteamento, visando proporcionar uma maior agilidade e precisão nos ensaios realizados, foi proposto um sistema de controle para o posicionamento longitudinal em um eixo roscado do sistema de roleteamento profundo de virabrequins.

Os desafios para a realização deste controle são o planejamento do projeto, desde seu estudo teórico necessário até sua conclusão nos testes realizados, a definição do melhor modelo do servomotor adequado à carga mínima requerida, a construção de um sistema de potência independente do sistema já existente do processo de roleteamento do virabrequim no mesmo painel elétrico do dispositivo, a fixação mecânica do motor à estrutura e ao eixo roscado, o projeto de fixação do braço articulado ao eixo roscado e o controle do servomotor instalado através de um software de programação em linguagem *Ladder* e de botões de acionamento e controle da posição do braço articulado através do giro do servomotor.

## 2. APLICAÇÃO

Primeiramente foi realizado o planejamento das atividades, levantando as especificações necessárias para o projeto e então essas atividades foram organizadas de forma cronológica e separadas em etapas. Foram evidenciados os produtos resultantes de cada atividade e a partir deste documento foi feito o cronograma a ser seguido, ilustrado abaixo.



**Figura 2 - Gantt Chart do Projeto.**

A execução do projeto foi dividida em quatro etapas: 1ª) estudo dos equipamentos; 2ª) montagem mecânica; 3ª) montagem elétrica e programação do controle; 4ª) testes finais e possíveis ajustes. As 2ª e 3ª etapas ocorreram de forma paralela.

Foram detalhadas abaixo cada uma das etapas, evidenciando o desenvolvimento e que resultado obteve-se para prosseguir para a próxima etapa.

### 1ª ETAPA – Estudo dos Equipamentos.

A solução proposta para o problema foi utilizar o eixo roscado já existente no dispositivo (figura 3) através do acoplamento de um servomotor, que por sua vez será controlado por um servoconversor. Para a interface com o operador será montado um painel elétrico.



**Figura 3** - Perfil suporte com o eixo roscado separada da estrutura do braço articulado.

Dentre os diversos modelos existentes de servomotor no mercado, dois fatores principais foram levados em consideração para a escolha do melhor servomotor, torque mínimo e potência necessária (SANTANA, D. D. S.).

Levando em consideração uma velocidade limite para a movimentação do braço articulado de  $V(\text{limite}) = 0,1 \text{ m/s}$  e as seguintes informações:

Tempos do Movimento (Placa):

$$\begin{cases} (trcp) \text{ Aceleração} = 0,1 \text{ s;} \\ (tpcp) \text{ Pico} = 0,3 \text{ s;} \\ (tscp) \text{ Desaceleração} = 0,1 \text{ s.} \end{cases}$$

Dimensões (Fuso):

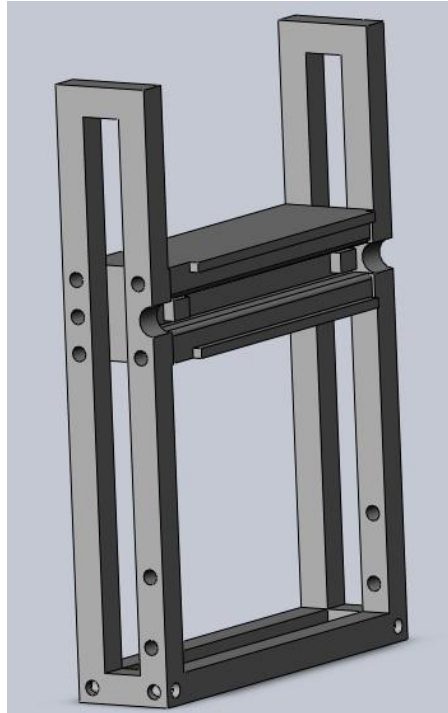
$$\begin{cases} (cf) \text{ Comprimento} = 1,03 \text{ m;} \\ (df) \text{ Diâmetro} = 0,032 \text{ m;} \\ (pf) \text{ Passo} = 0,008 \text{ m.} \end{cases}$$

(mf) Massa do Fuso  $\approx 7,9 \text{ kg}$ ;  
( $\mu_f$ ) Atrito Rolamento Fuso  $\approx 0,01$ ;  
(Ff) Força de Pré-carga do fuso  $\approx 0\text{N}$ ;  
(Cg) Comprimento da guia linear = 1 m;  
( $\mu_g$ ) Atrito Guias Lineares  $\approx 0,02$ ;  
(mp) Massa da Placa  $\approx 100 \text{ kg}$ ;  
(mg) Massa da guia Linear = 14,4 kg.

Foram obtidos os seguintes valores, para o torque total necessário  $T_t = 0,493 \text{ Nm}$ , e para a potência mínima  $P_{\text{min}} = 0,06 \text{ kW}$ . Observa-se que o torque e a potência necessários para esta solução são pequenos comparados aos presentes nos modelos de servomotor no mercado.

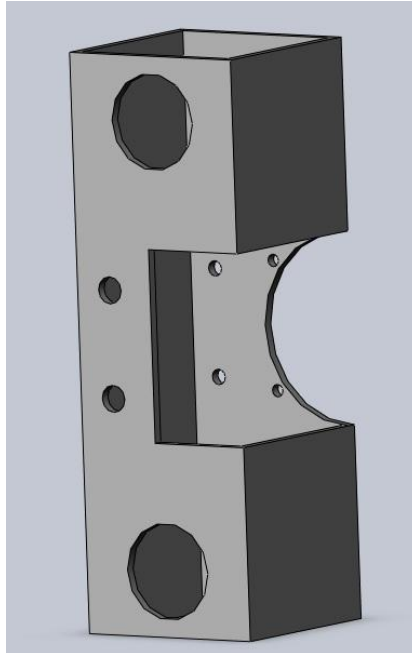
## 2ª ETAPA – Montagem Mecânica.

Após a definição do modelo do servo-motor, foram realizadas modelagens computacionais para a futura usinagem das peças de fixação do servomotor na estrutura existente, na figura 4 é demonstrado parte da estrutura de roleteamento envolvida no trabalho de fixação do motor.



**Figura 4 - Estrutura Modelada.**

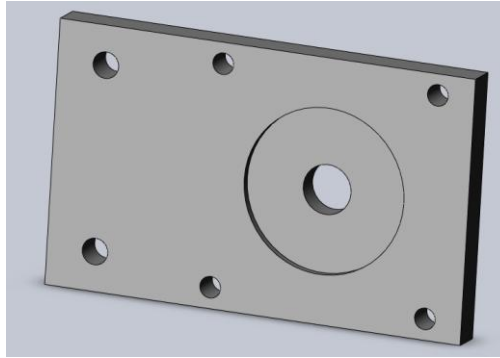
A usinagem das peças necessárias ao acoplamento foi realizada de acordo com os desenhos técnicos impressos. Os cortes e a furação realizada estão evidenciados na figura abaixo.



**Figura 5 – Parte da Estrutura Usinada.**

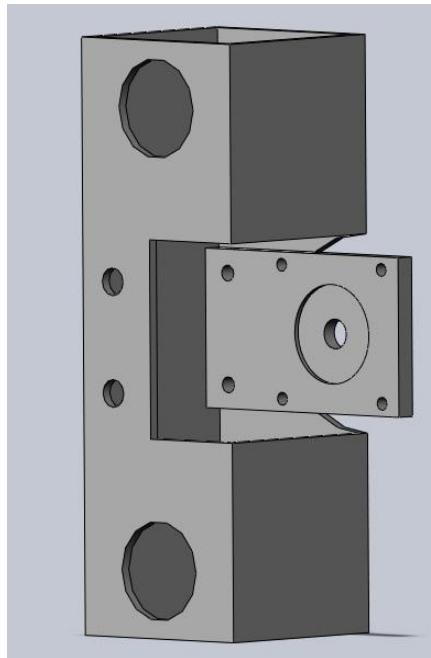
A placa de fixação foi modelada conforme as dimensões do servomotor, exemplificada na figura 6.





**Figura 6 - Placa de Fixação do Motor.**

A figura abaixo exemplifica como ficou a estrutura finalizada para a fixação do servomotor.

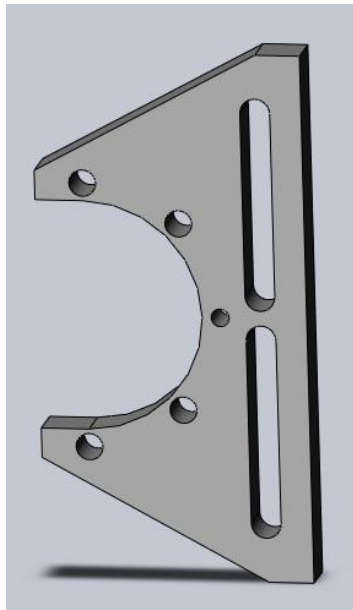


**Figura 7 - Estrutura finalizada.**

Por causa da diferença entre o diâmetro do eixo do servomotor e o diâmetro do eixo roscado, foi necessária utilização de um acoplamento de fole sem folga para a conexão.

Após a finalização da usinagem das peças e sua devida instalação outro detalhe mostrou-se importante, a necessidade de garantir a ortogonalidade entre a placa de fixação do servomotor e o eixo roscado. Esta correção foi realizada com o uso de massa plástica para materiais metálicos da seguinte maneira, a placa foi presa temporariamente ao eixo de modo que o espaço restante pudesse ser preenchido com a massa até a mesma estar completamente rígida, impedindo que a fixação da placa à estrutura pudesse ser feita sem a ortogonalidade exigida.

Para a fixação do braço articulado ao eixo roscado outra peça foi usinada para que pudessem ser utilizados os furos já existentes na guia de esferas recirculantes, exemplificada na figura 8.



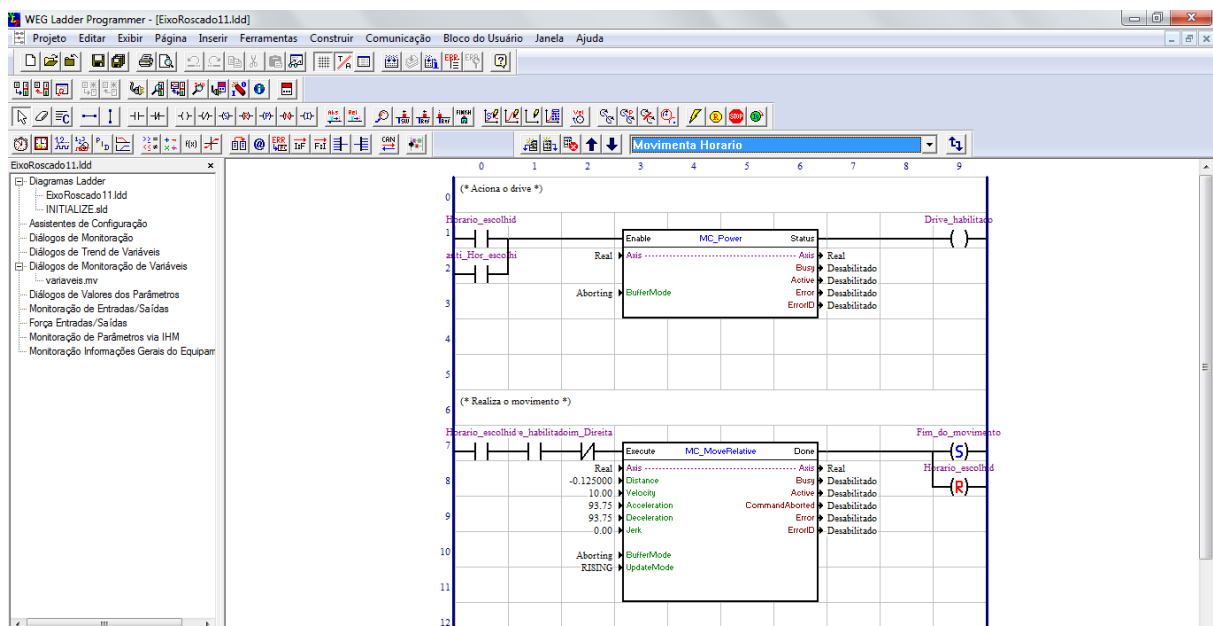
**Figura 8** – Placa de fixação entre o braço articulado e o eixo roscado.

### 3ª ETAPA – Montagem Elétrica e Programação do Controle.

O controle do servomotor foi feito usando um servo-conversor, dispositivo de alta performance dedicado ao controle de um servo-motor onde além do simples controle de posição, pode-se ser controlada velocidade e implementada lógica através de um conjunto de entradas e saídas analógicas e digitais e da sua programação utilizando a linguagem *Ladder*, através do compilador fornecido pelo usuário (WEG).

*Ladder* é uma linguagem de programação utilizada em controladores lógicos programáveis (CLPs), nas quais funções lógicas são implementadas através de contatos como bobinas e relés. No WLP (*Weg Ladder Programmer*), existe um conjunto de outros blocos de posicionamento (WEG).

A interface com a programação criada está evidenciada na figura abaixo.

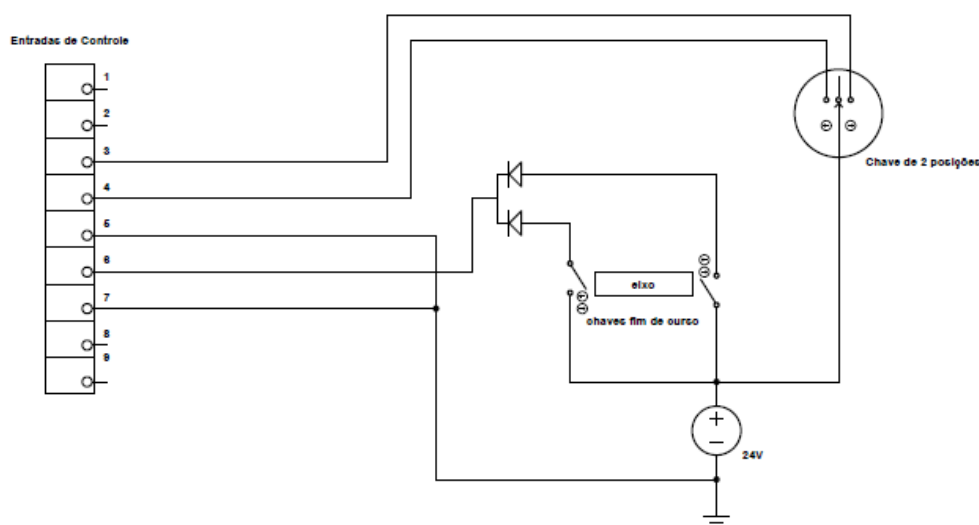


**Figura 9** – Interface do programa utilizado para programação Ladder.



Para o posicionamento do caso em questão, foi utilizado um botão de duas posições, no qual cada pulso juntamente com sua direção define a rotação do eixo que leva a um deslocamento de um milímetro. Para evitar danos, foram instalados duas chaves fim de curso, uma em cada extremidade do eixo. O baixo número de entradas digitais no servo-conversor fez com que fosse necessário fazer a ligação de ambos os sensores na mesma entrada e resolver o problema de qual fim de curso foi atingido por software, verificando também qual o último sentido de rotação do motor.

A figura 10 representa o circuito lógico de controle da bancada. As entradas de controle são as entradas do servo-conversor.



**Figura 10 - Circuito Lógico.**

A parte elétrica do projeto consistia em energizar toda a parte de potência e garantir segurança ao operador, contando com o auxílio de relés, fusíveis, disjuntor, entre outros. O circuito elétrico de potência foi baseado em um existente no próprio manual do servo-conversor, teve que ser adaptado devido a outro sistema previamente instalado para o mesmo eixo. O projeto foi instalado praticamente independente do sistema já montado, compartilhando apenas o transformador e tensões de entrada, além do mais, o sistema estava sem um botão de emergência, que foi colocado como segurança (para os dois sistemas).

Primeiramente foram definidos os componentes elétricos para o projeto, os critérios de aceitação foram: especificação segundo manual do servo-conversor e servo-motor, limitações do local de instalação e tensão de rede do laboratório.

Os componentes utilizados foram:

- dois contactores de 220 V tensão/16 A de corrente;
- um relé de detecção contra falta de fase;
- duas lâmpadas sinalizadoras (vermelha e verde);
- um disjuntor de 220V;
- fusíveis de 16 A de corrente;
- um botão liga/desliga e um botão de emergência.





Com os componentes definidos, foi feito o desenho do circuito elétrico (figura 11). A partir deste, foi estudada e projetada a posição dos componentes dentro do painel visando, segurança (foi seguida todas as especificações do fabricante), um bom layout e fácil acesso, caso seja necessária alguma manutenção futuramente. Com o desenho pronto foi necessário fazer novas furações na porta do painel e adequar o espaço aos novos componentes. Assim, com os componentes em seu devido lugar foi iniciada a parte de montagem elétrica.

A montagem elétrica consistiu em, a partir do circuito previamente feito, fazer as conexões entre os componentes. As dimensões dos cabos foram definidas em parte orientadas pelo manual do servo-conversor e também a partir da tensão e corrente de entrada. Com a montagem pronta (deixando-se a conexão vinda da rede trifásica desconectada) foi revisado todo o circuito elétrico e preparado para os testes.

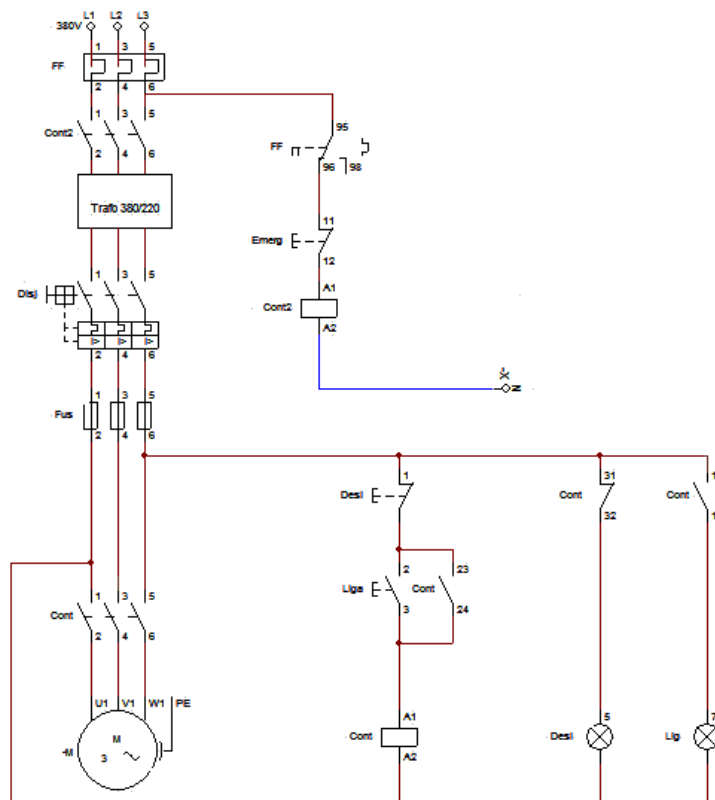


Figura 11 - Circuito Elétrico.

#### 4ª ETAPA: Testes finais e possíveis ajustes.

O primeiro teste realizado foi o acionamento de potência. Testou-se cada parte do circuito separadamente evitando assim queimas ou curtos ao longo do circuito. Primeiramente com o circuito totalmente desligado foi testada a continuidade do circuito, o objetivo desse teste era eliminar faltas de energia ao longo do circuito devido a mau contato ou curtos circuitos. Verificado isso, foram ligados primeiramente a entrada de tensão (380 V) deixando os seccionadores do circuito desligados (botão e disjuntor). O objetivo desta etapa era verificar a chegada das três fases no transformador e a saída de 220 V para o circuito. Por último, foi testado o acionamento do circuito de potência sem alimentação do servoconversor, evitando assim possível queima do componente. Verificado todos os testes, foi ligado o servoconversor e com este teste o projeto estava habilitado para os testes da programação.

Após a finalização dos testes de potência, a programação foi transferida para o servoconversor e foram realizados os testes de programação e controle primeiramente com o

motor trabalhando sem estar conectado a carga por questões de segurança, e posteriormente com o motor conectado ao eixo.

### 3. CONCLUSÃO

Com a solução apresentada foi possível automatizar o movimento desejado. A solução ainda pode ser facilmente modificada para uma possível futura integração entre o sistema de posicionamento de eixo roscado e o responsável pelo roleteamento propriamente dito, modificando apenas o código de controle.

### 4. REFERÊNCIAS

**CASARIN, J. J.** Roleteamento de virabrequins. 2007. Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Endereço: <http://www.tede.ufsc.br/teses/PEMC1165-D.pdf> Acesso em: 18/05/2012.

**SANTANA, D. D. S.** Sistema de Controle de Velocidade e Posição para mesa Coordenada Cartesiana Utilizada em Máquinas Ferramenta. Revista de Ciências Exatas e Tecnologia. Vol. III ,Nº. 3, Ano 2008. Endereço: <http://sare.unianhanguera.edu.br/index.php/rcext/article/view/411/417> Acesso em: 10/10/2011.

**WEG.** Servoconversor SCA06 - Manual do Usuário. Fevereiro de 2011.

**WEG.** Servoconversor SCA06 - Manual de Programação. Dezembro de 2010.

**WEG.** Software WLP - Manual do Usuário. Agosto de 2011.