

890
(vito)
Amilton

Dispositivo para Ensaio de

FADIGA TÉRMICA

Aquecimento por Efeito Indutivo

de acordo
Edson
Coordenador de PML 581 km-2.
4/3 mar 99

Aluno: *Ricardo Akira Nagaya*

Orientador: *Prof. Doutor Amilton Sinatora*

Coordenador: *Prof. Doutor Édison Gomes*

São Paulo, Fev. de 1999. 1998

À Cristina e a todos os
meus amigos que me apoiaram
e me ajudaram neste trabalho.

ÍNDICE

1 OBJETIVOS.....	3
2 ESTUDO DA NECESSIDADE	4
2.1 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA.....	4
2.2 IMPLICAÇÕES NA QUALIDADE DO LAMINADO.....	4
3 PRINCÍPIOS BÁSICOS E FUNDAMENTOS.....	6
3.1 TENSÕES TÉRMICAS	6
3.2 FADIGA TÉRMICA	8
3.2.1 <i>Fadiga Térmica X Choque Térmico</i>	10
3.3 AQUECIMENTO POR INDUÇÃO	11
4 CARACTERÍSTICAS DO PROJETO.....	12
4.1 COMPONENTES DO SISTEMA PARA O ENSAIO	12
4.1.1 <i>Fonte de Potência e Conversor de Frequência</i>	13
4.1.2 <i>Forno Indutor (Espira)</i>	14
4.1.3 <i>Resfriamento do Corpo de Prova</i>	16
4.1.4 <i>Corpo de Prova</i>	16
4.1.5 <i>Base/Suporte para os Equipamentos</i>	18
4.2 LIMITAÇÕES	19
4.3 CRITÉRIO DE PROJETO	20
5 SÍNTESE DE SOLUÇÕES	21
5.1 POSSIBILIDADES CONSTRUTIVAS.....	21
5.2 VALOR ECONÔMICO	21
5.3 EXEQUIBILIDADE FÍSICA	22
5.4 ESCOLHA DA SOLUÇÃO.....	22
5.5 VIABILIDADE FINANCEIRA	23

6 ANÁLISE E SIMULAÇÃO DO CICLO DE AQUECIMENTO.....	25
6.1 GRADIENTES DE TEMPERATURA E DILATAÇÕES	28
7 CONCEPÇÃO DO DISPOSITIVO	33
8 CONCLUSÕES	35
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
10 ANEXOS.....	37
10.1 ANEXO 1: LISTAGENS DOS ARQUIVOS BATCH	37
10.1.1 <i>FadTerm.inp</i> :	37
10.1.2 <i>EntDados.inp</i> :	38
10.1.3 <i>MatProp.inp</i> :.....	39
10.1.4 <i>Geo.inp</i> :	40
10.1.5 <i>AplProp.inp</i> :.....	41
10.1.6 <i>Malha.inp</i> :.....	41
10.1.7 <i>CondCont.inp</i> :.....	42
10.1.8 <i>Solucao.inp</i> :	44
10.2 ANEXO 2: PROJETO DA ESPIRA	45
10.3 ANEXO 3: DESENHOS DE PROJETO	50

1 OBJETIVOS

Este texto tem como meta a apresentação do estudo de viabilidade e o projeto para a construção de um dispositivo, ou máquina, para ensaios qualitativos de materiais à fadiga térmica. A origem da necessidade da construção de tal dispositivo vem da verificação de inúmeros mecanismos que operam em regime de ciclos térmicos. Tais regimes induzem os materiais à falha, causando por vezes, acidentes, paradas de linhas de produção, manutenção e troca constantes de peças e equipamentos.

Este estudo deter-se-á em um equipamento em particular: o cilindro de laminação a quente. É verificado neste equipamento, após pouco tempo de utilização, o aparecimento de trincas em forma de malha na superfície, cuja causa, em estudos feitos previamente, foi atribuída à fadiga térmica.

Os ciclos térmicos para ensaiar os materiais à fadiga térmica serão gerados por correntes induzidas no corpo de prova através de um forno indutivo (espira).

2 ESTUDO DA NECESSIDADE

2.1 Importância Econômica

Há estimativas de que do total de laminados produzidos em todo o mundo, 90% seja pelo processo de laminação a quente. Estima-se ainda que as despesas com o cilindro de laminação, devido ao desgaste, esteja entre 5 e 10% do custo total do processo. Adicionalmente tem-se o custo devido à mão-de-obra dispendidos na manutenção do cilindro, representando, aproximadamente, US\$ 1 por tonelada produzida [1:275].

A partir destes dados deduz-se que se os custos diretos e indiretos relativos ao desgaste e à manutenção do cilindro fossem diminuídos, tal redução refletir-se-ia diretamente no custo de produção.

Dessa forma, o aumento na vida útil do cilindro promoveria uma significativa redução nos custos, indicando que novos materiais devem ser elaborados e testados para este tipo de aplicação.

2.2 Implicações na Qualidade do Laminado

Em função da deterioração da superfície do cilindro laminador, há uma sensível degradação da qualidade do laminado, tendo como conseqüência a inadequabilidade do laminado como matéria-prima de diversos produtos.

A constância da qualidade do laminado impõe, dessa forma, uma manutenção periódica no cilindro, o que acarreta custos tanto mais elevados quanto menores estes intervalos de tempo.

3 PRINCÍPIOS BÁSICOS E FUNDAMENTOS

3.1 Tensões Térmicas

Tensões térmicas é a denominação atribuída às tensões que aparecem em alguns tipos de materiais devido à variação de temperatura. Tais tensões aparecem devido, principalmente, a duas propriedades destes materiais:

- expansibilidade volumétrica associada à variação de temperatura; e
- condutividade térmica.

Os metais, em particular, dilatam-se quando submetido a um aumento de temperatura e se contraem se a temperatura diminui.

As tensões térmicas aparecem somente se há, de alguma forma, restrição interna ou externa à variação de volume. Esta restrição pode ser de origem mecânica (externa) ou devido a um gradiente térmico na peça ou, ainda, devido a propriedades anisotrópicas do material (interna).

A restrição mecânica consiste em impedir a dilatação ou a contração do material por aplicação de esforços externos ao corpo.

O gradiente de temperatura, associado à expansibilidade do material e devido à condutividade térmica, induz no corpo um gradiente de variação volumétrica. Tal gradiente induz tensões no material, pois camadas adjacentes que possuem diferentes variações volumétricas agem restringindo-se reciprocamente, provocando o surgimento de tensões.

A condutividade térmica é uma propriedade dos materiais que indica quão rápido ocorrerá a transferência de calor através do material quando de uma variação de temperatura, ou da aplicação de um fluxo de calor.

Se a variação de temperatura não ocorrer por um processo quase estático, haverá no material um gradiente de temperatura devido à condutividade térmica, o que incorrerá em tensões térmicas.

Dessa forma, se uma peça é submetida a uma variação de temperatura em um curto espaço de tempo, por exemplo se for tirada da temperatura ambiente e colocada em um forno pré-aquecido, aparecerá um gradiente de temperatura entre a superfície da peça, diretamente em contato com o ambiente à nova temperatura, e a camada de material imediatamente mais interna à peça. A superfície sofrerá uma dilatação diferente da camada imediatamente mais interna, induzindo tensões de compressão na camada mais externa e tração na mais interna. O Inverso ocorre caso a superfície estiver sendo resfriada (tração na superfície e compressão na camada mais interna).

Assim, quanto maior a condutividade térmica (menores gradientes de temperatura) e quanto menor a expansibilidade volumétrica (menor diferença de dilatação ou contração entre camadas adjacentes) melhor serão as características do material em relação às tensões térmicas.

A diferença nas propriedades do material que compõe a peça (material anisotrópico) é outra forma de restrição interna. Caso o material possua diferentes coeficientes de expansibilidade volumétrica, diferentes dilatações ou contrações serão induzidas, gerando tensões.

Porém, outras características como tensão de escoamento, módulo de elasticidade, etc., interferem decisivamente na escolha do material, de forma que as características de expansibilidade e de condutividade tornam-se desejáveis mas não fundamentais.

Como ilustração, tem-se que em uma placa plana de aço inoxidável totalmente engastada aparece escoamento quando submetida a uma variação de temperatura de 40K. Já em uma placa plana de aço estrutural, geometricamente idêntica e totalmente engastada, a temperatura para que apareça escoamento é em torno de 100K [4:109].

3.2 Fadiga Térmica

A fadiga térmica é causada por ciclos, periódicos ou não, de aquecimento e resfriamento e, conseqüentemente, por ciclos de tensões.

Assim como a fadiga mecânica, a térmica causa uma aceleração no processo de deterioração das peças submetidas a variações de temperaturas, mesmo que as tensões atingidas nos ciclos não alcancem a tensão de ruptura ou de escoamento do material que compõe a peça.

Como resultado da fadiga térmica, os componentes que foram submetidos aos ciclos térmicos apresentam uma malha de trincas sobre a superfície.

A fadiga térmica não é o único mecanismo responsável pela degradação dos equipamentos que sofrem ciclagem térmica sendo porém, segundo estudos, a responsável pela nucleação das trincas. A propagação das trincas é altamente

dependente da forma de refrigeração empregada nos ciclos, indicando a oxidação que ocorre no interior das trincas como um fator bastante relevante.

Em experiências de fadiga térmica realizadas variando-se apenas o fluido de refrigeração, a vida do corpo de prova aumentou consideravelmente utilizando-se um gás inerte, em comparação com o ar, como fluido refrigerante.

A complexidade para a obtenção de resultados, mesmo que apenas qualitativos, é bastante grande. A grande quantidade de parâmetros envolvidos no estudo da fadiga, como propriedades dos materiais (que geralmente variam em função da temperatura e muitas vezes muda drasticamente de comportamento), características do equipamento (forma de aquecimento e de resfriamento, com restrição mecânica ou apenas gradiente de temperatura) e do ambiente, confere uma grande complexidade para a análise dos resultados e principalmente para a sua confiabilidade.

Ilustrando tal complexidade tem-se que ensaios realizados por diferentes pesquisadores (Muscatell et al., 1957; Hunter, 1956; e Riddihough, 1960), comparando-se ligas de cobalto e ligas de níquel, apresentaram resultados contrastantes em suas performances frente à fadiga térmica [4:113].

Outro fator relevante para este tipo de ensaio é o tempo no qual o corpo de prova permanece à máxima temperatura do ciclo, pois, dependendo da temperatura e do tempo, outro mecanismo começa a agir: a fluência.

A máxima temperatura que o ciclo atinge é um dos principais parâmetros, pois a elevadas temperaturas tem-se uma redução nas propriedades mecânicas dos materiais, apresentando maiores escoamentos e deformações plásticas.

A elevadas temperaturas há alterações na forma como ocorrem as trincas devido a fenômenos como recobrimento, recristalização, relaxamento das tensões devido a fluência.

Mais um fato deve ser levado em consideração no estudo e na análise dos resultados da fadiga térmica: a variação das propriedades dos materiais em função do número de ciclos a que foi submetido o componente.

Foi verificado também, que os efeitos da rugosidade é menos relevante na fadiga térmica em comparação à fadiga mecânica (ou fadiga isotérmica).

3.2.1 Fadiga Térmica X Choque Térmico

Não há um consenso entre os pesquisadores sobre diferença entre fadiga térmica e choque térmico. O que pode-se deduzir de tudo o que foi pesquisado é que o segundo é um caso particular do primeiro, sendo característico em materiais frágeis e ocorrendo a baixo ciclo, enquanto que a fadiga térmica, propriamente dita, é característica de materiais dúcteis e ocorrendo a alto ciclo.

Segundo Michael Pohl (1997), considera-se baixo ciclo quando a falha ocorre em menos de 50.000 ciclos (choque térmico) e alto ciclo acima de 50.000 ciclos (fadiga térmica).

Há autores que definem choque térmico quando a falha ocorre em um único ciclo e diferenciando, ainda, fadiga de baixo ciclo e de alto ciclo.

O choque térmico é característico de materiais com baixa ductilidade, elevada tensão de ruptura, elevado módulo de elasticidade, e baixa condutividade térmica.

3.3 Aquecimento por Indução

Aquecimento por indução é um método para aquecer, eletricamente, materiais condutores aplicando-se um campo magnético cujas linhas de força penetram na peça. O campo magnético variável induz uma diferença de potencial elétrico na peça, gerando as chamadas correntes elétricas induzidas.

Comparando-se o sistema de aquecimento por indução com outros sistemas, como por convecção, radiação, condução ou mesmo por chama direta sobre a peça, verifica-se que trata-se de um sistema, geralmente, mais eficiente em termos de economia de energia e elevadas faixas de aquecimento.

O sistema de aquecimento por indução apresenta outras vantagens, essenciais à condução de ensaios bastante longos e em laboratório:

- facilidade de automação e controle;
 - ocupação de pequenas áreas;
 - sistema que não gera ruídos nem resíduos.
-

4 CARACTERÍSTICAS DO PROJETO

4.1 Componentes do Sistema para o Ensaio

O sistema para ensaio de fadiga térmica por indução é composto, basicamente, de 5 componentes:

- fonte de potência e conversor de frequência;
 - forno indutor (espira);
 - sistema de resfriamento do corpo de prova;
 - corpo de prova; e
 - base/suporte para os componentes.
-

4.1.1 Fonte de Potência e Conversor de Frequência

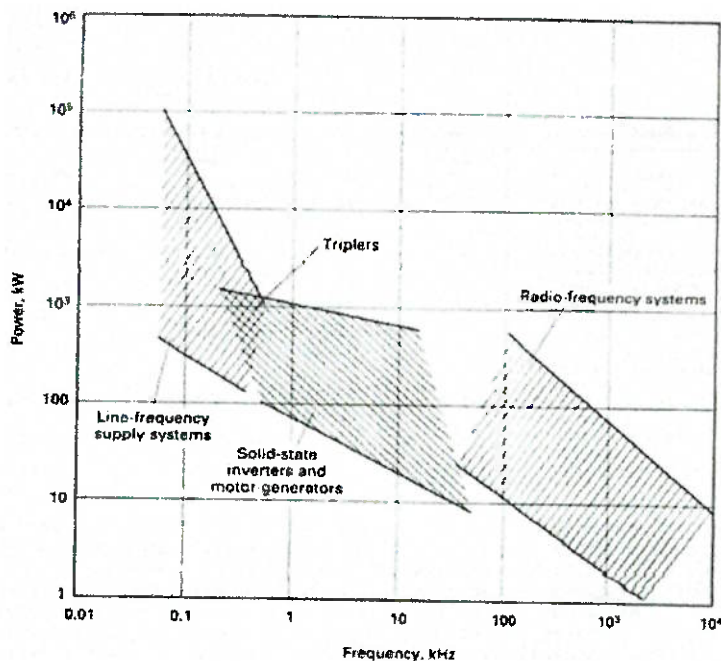


Fig. 4.1 Faixas de potência e frequência para vários sistemas de indução [5:167]

A potência da fonte necessária e a frequência estão interligadas, como mostra o gráfico da figura 4.1.

Alta frequência em aquecimento por indução é, geralmente, utilizada para tratamentos térmicos superficiais em função da propriedade das linhas de força do campo magnético ficarem tão mais próximas da espira de indução quanto maior for a frequência da fonte e, desta forma, o aquecimento ocorre apenas no local (superfície). Para a fundição de metais, usualmente, utiliza-se a frequência da rede (50 ou 60 Hz).

A potência influi na velocidade de aquecimento da peça ou, desejando-se uma velocidade constante, nas suas dimensões.

4.1.2 Forno Indutor (Espira)

O projeto da espira depende de diversos fatores, como:

- dimensões e configurações (forma, propriedades do material) da peça;
- temperatura requerida;
- padrão de aquecimento desejado; e
- frequência e potência a ser aplicada.

A forma da peça determina a forma espira a ser utilizada. A figura 4.2 apresenta algumas formas de espiras projetadas para peças de mesmas características geométricas.

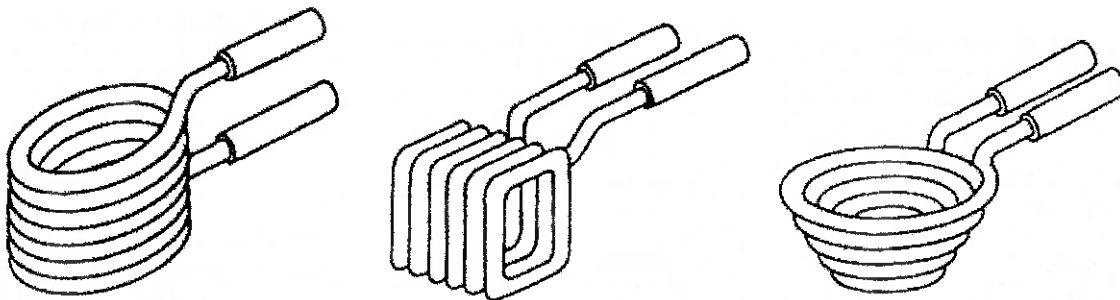


Fig. 4.2 Algumas formas possíveis para a espira [5:173]

Para o projeto deve-se observar alguns aspectos de relevância, principalmente:

- o acoplamento entre a peça e a espira deve ser de forma a se obter a menor distância possível entre as duas, para que se obtenha a máxima transferência de energia da espira para a peça; e
- a densidade de linhas de força é maior próximo à espira e, portanto, o maior aquecimento dar-se-á nesta região.

A figura 4.3, apresentada abaixo, mostra o efeito da proximidade entre a peça e a espira, no aquecimento. No anexo 2 está descrito um método para pré-dimensionar o sistema de aquecimento por indução.

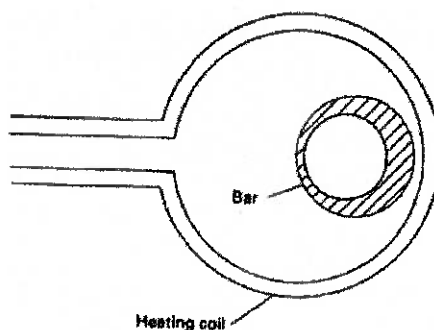


Fig. 4.3 Padrão de aquecimento (hachura) em uma barra cilíndrica posicionada fora de centro [5:172]

4.1.3 Resfriamento do Corpo de Prova

Para executar os ciclos térmicos, deve-se ter um sistema para o resfriamento da peça logo após o aquecimento.

Esta parte do dispositivo depende dos critérios de projeto e de ensaio, como o tempo para o resfriamento da peça até a temperatura de referência e o tipo de fluido de resfriamento. Com base na literatura pesquisada, apenas dois fluidos são utilizados para simular um cilindro de laminação a quente: ar e água.

O sistema de resfriamento em cilindros de laminação é composto por bicos aspersores posicionados na parte posterior, logo após o cilindro sofrer um aquecimento devido ao contato direto com o laminado.

4.1.4 Corpo de Prova

O corpo de prova será submetido a um aquecimento superficial e em seguida sofrerá um resfriamento. A potência necessária da fonte de calor, para uma determinada velocidade de aquecimento, depende da dimensão da superfície do corpo sendo, portanto, um critério para o seu dimensionamento.

Para um ensaio de fadiga térmica, onde a única restrição à dilatação ou à contração é interna, o corpo de prova deve ser de tal forma que apresente um alto gradiente de temperatura.

O corpo de prova pode apresentar, ainda segundo a literatura pesquisada, duas configurações: cilindro maciço e cilindro com furo central para fluxo de fluido de refrigeração.

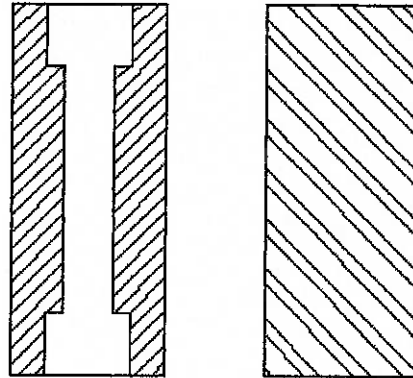


Fig. 4.4 Corpos de prova: cilindro com furo central para o fluido de refrigeração e o cilindro maciço

Para corpos cilíndricos de mesma dimensão externa, o com furo central e fluido de refrigeração apresenta maiores gradientes de temperatura entre a superfície e o centro quando ensaiado com a mesma fonte.

Uma outra forma possível para o corpo de prova é a apresentada a seguir:

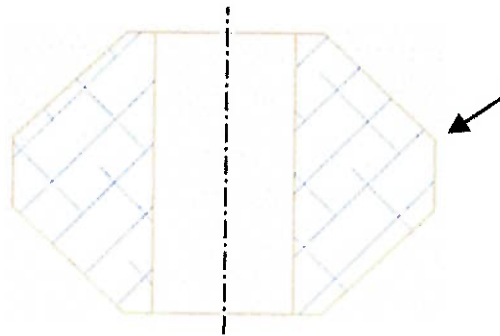


Fig. 4.5 Corpo de prova: aquecimento localizado (seta)

Este corpo de prova sofre aquecimento apenas na superfície cilíndrica externa (indicada pela seta na figura 4.5) sendo as partes superior e inferior (cônicas) 'reservatórios térmicos' que atuam aumentando a restrição à dilatação ou à contração. O furo serve apenas para fixação do corpo de prova ao equipamento.

4.1.5 Base/Suporte para os Equipamentos

A base dos equipamentos deve permitir uma montagem fácil, bem como a sua manutenção. Deverá permitir a fixação de outros aparelhos, como os de medições, e garantir a segurança do operador durante o seu funcionamento.

4.2 Limitações

O projeto deste dispositivo apresenta algumas limitações, tanto técnicas quanto de disponibilidade de alternativas de soluções.

As limitações técnicas devem-se, principalmente, aos fatores que se seguem, alguns já mencionados anteriormente:

- em função do acoplamento entre a peça e a espira estar extremamente vinculado às propriedades dos materiais, estas não podem apresentar variações entre um corpo de prova e outro;
- uma única fonte de potência satisfará as condições de ensaio somente para alguns materiais;
- para se obter uma dada taxa de aquecimento, as dimensões dos corpos de prova tornam-se limitadas pela potência da fonte; e
- o projeto da espira para aquecimento por indução é feito com base em um grande conjunto de dados empíricos.

A outra limitação deve-se ao fato de serem restritas as literaturas que descrevem os ensaios, bem como os dispositivos e os resultados obtidos para que se possa fazer comparações entre os resultados e mesmo comparações de métodos.

4.3 Critério de Projeto

Como este projeto tem por objetivo a construção de um dispositivo de ensaio de fadiga térmica, através do qual serão realizados ensaios para qualificação de materiais resistentes a este fenômeno, apenas um critério norteia o projeto: os ciclos de aquecimento e de resfriamento que assegurem taxas de 'strain rates', compatíveis com o fenômeno de fadiga térmica.

5 SÍNTESE DE SOLUÇÕES

5.1 Possibilidades Construtivas

As alternativas de soluções alcançadas constituem-se das combinações dos componentes mencionados nos itens 4.1.3 e 4.1.4, mais a alternativa de se montar um pistão para movimentar o corpo de prova posicionando-o fora da espira para sofrer o resfriamento.

Dessa forma, temos que:

- o resfriamento poderá ocorrer utilizando-se ar ou água;
- os corpos de prova serão de revolução e terão ou não o furo central. O furo no corpo de prova será utilizado para a sua fixação ao equipamento e/ou para refrigeração interna; e
- o resfriamento do corpo de prova dentro da espira ou após posicionar o corpo de prova fora da espira.

5.2 Valor Econômico

Os ensaios serão realizados com o intuito de selecionar, qualitativamente, materiais mais resistentes à fadiga térmica, grande responsável pela elevação dos custos de produção de laminados a quente. Desta forma deve-se investir em pesquisas para a obtenção de novos materiais para esse processo produtivo.

5.3 Exeqüibilidade Física

O mecanismo deste dispositivo é bastante simples, não constituindo dificuldade para a sua construção e montagem. A espira, apesar da relativa complexidade do projeto, é bastante simples de ser produzida.

5.4 Escolha da Solução

A solução que apresenta as melhores características, atendendo ao propósito de ensaiar materiais para cilindro de laminação a quente é composta pelo corpo de prova com furo central apresentado na figura 4.5, submetido a um resfriamento externo por água com posicionamento por pistão.

Tal corpo de prova apresenta um 'reservatório térmico' que atua restringindo a dilatação ou contração do material. Entende-se por 'reservatório térmico' como uma inércia à variação de temperatura o que induz tensões térmicas maiores que em um corpo sem tal 'reservatório'.

Deve-se observar que para um corpo de mesma massa e com um furo de mesmo diâmetro, a área submetida à indução gerada pela espira é maior, necessitando de uma potência maior para obter o mesmo gradiente de temperatura.

A água como fluido de resfriamento foi escolhida por possuir um alto calor específico (4,184 kJ/kg.K) em relação ao calor específico do ar (1,0035 kJ/kg.K), sendo capaz, portanto, de retirar uma determinada quantidade de calor com uma

menor massa. Com isso, há uma redução nos custos por dois motivos: será utilizada uma bomba d'água, que apresenta custos inferiores aos apresentados por um compressor; e como a água é mais eficiente no processo de resfriamento, necessitando de uma vazão mássica e volumétrica relativamente baixas, o equipamento necessário será de pequeno porte.

Como a água apresenta-se como o melhor fluido de resfriamento, surge um problema caso o corpo de prova seja resfriado ainda dentro da espira, pois ao final ter-se-ia gotículas de água sobre a superfície da espira podendo, eventualmente, haver problemas de curto circuito ou até mesmo interferir no tempo de aquecimento.

Dessa forma optou-se por posicionar o corpo de prova fora da espira por meio de um pistão pneumático para efetuar o ciclo de resfriamento.

Tal resfriamento será por mergulho do corpo em um reservatório de água. Esta água circulará permanentemente entre este reservatório e um outro de maiores dimensões por meio de uma bomba hidráulica.

A opção por este meio de resfriamento deveu-se, principalmente, à facilidade construtiva.

5.5 Viabilidade Financeira

O equipamento mais caro deste dispositivo é a fonte de potência, com valor estimado entre 15 (equipamento valvulado recondicionado) e 30 mil dólares (equipamento transistorizado novo). Porém este equipamento já está disponível,

fornecido pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), também envolvido no projeto. Os outros equipamentos apresentam custos bastante reduzidos, tanto para aquisição, como é o caso da bomba hidráulica e do pistão pneumático, quanto para fabricação dos componentes.

6 ANÁLISE E SIMULAÇÃO DO CICLO DE AQUECIMENTO

O modelo do corpo de prova foi implementado em um programa de computador chamado ANSYS, versão 5.4. O ANSYS é um programa de elementos finitos para cálculos estruturais, transferência de calor, mecânica dos fluidos, eletromagnetismo, etc.

Para a modelagem foram assumidas algumas hipóteses simplificadoras do problema real:

- fluxo de calor constante sobre a superfície indicada pela seta na figura 4.5;
- superfícies cônicas adiabáticas;
- axi-simetria; e
- simetria pelo plano médio perpendicular ao eixo do corpo de prova.

No ciclo real de aquecimento há geração interna de calor por correntes induzidas. Esta geração interna não é constante pois as propriedades do material variam com a temperatura. Outra dificuldade é dimensionar a potência dissipada no material, pois ela depende do acoplamento entre a espira e o corpo, das propriedades do material que são praticamente desconhecidas quando se está testando novas ligas.

Nas superfícies cônicas ocorre dissipação de calor por convecção natural, porém esta perda somente se torna relevante após um período relativamente longo pois exige que as camadas de ar que envolvem o corpo aqueçam-se e

comecem a movimentar-se por diferença de densidade. Assim, considerar a superfície adiabática configura-se uma boa aproximação.

O corpo de prova e as suas condições de contorno não são exatamente axi-simétricos e nem simétricos pelo plano médio transversal pois ocorrem distorções no fluxo de campo magnético gerado pela espira próximo às extremidades desta e na conexão entre ela e a sua fonte de alimentação. No entanto tal hipótese é uma boa aproximação do caso real.

Dessa forma, apesar da axi-simetria, foi modelado um sólido e aplicado nele as condições de contorno relativas às simetrias e aplicado também o fluxo de calor.

O modelo geométrico representa apenas metade da altura do corpo de prova real e, devido à simetria axial, tem 5 graus na sua circunferência.

As simulações efetuadas comparam dois fluxos de calor de intensidades diferentes, e é feita uma breve análise quando se varia a condutibilidade térmica do material.

A intensidade do fluxo de calor foi estimado com base na potência fornecida pela fonte à espira multiplicado por um fator de transferência de potência da espira ao corpo de prova.

A fonte é alimentada por uma voltagem de 120V, corrente de 2A e frequência de rede de 50 ou 60Hz ou, ainda, 220V, 10A de corrente máxima e mesma frequência de rede. Na saída tem-se uma potência de 1kVA (1000W) e frequência de 1,2MHz. Para a simulação foi considerado um fator de transmissão de potência de 80%.

A outra intensidade foi estimada segundo ensaios de fadiga térmica realizados na Alemanha e acompanhados pelo Professor Doutor Amilton Sinatora da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), Departamento de Engenharia Mecânica. Os ensaios realizados na Alemanha utilizavam aquecimento por raio laser, cuja potência era da ordem de 10MW/m^2 . Dessa forma foi estimada uma fonte de 5kVA de potência e um fator de transferência de 80%[7:37].

6.1 Gradientes de Temperatura e Dilatações

Abaixo apresentamos o gradiente de temperatura no corpo de prova quando submetido a um aquecimento de 15 segundos com a fonte utilizada neste projeto. Inicialmente todo o corpo está à temperatura uniforme de 300K.

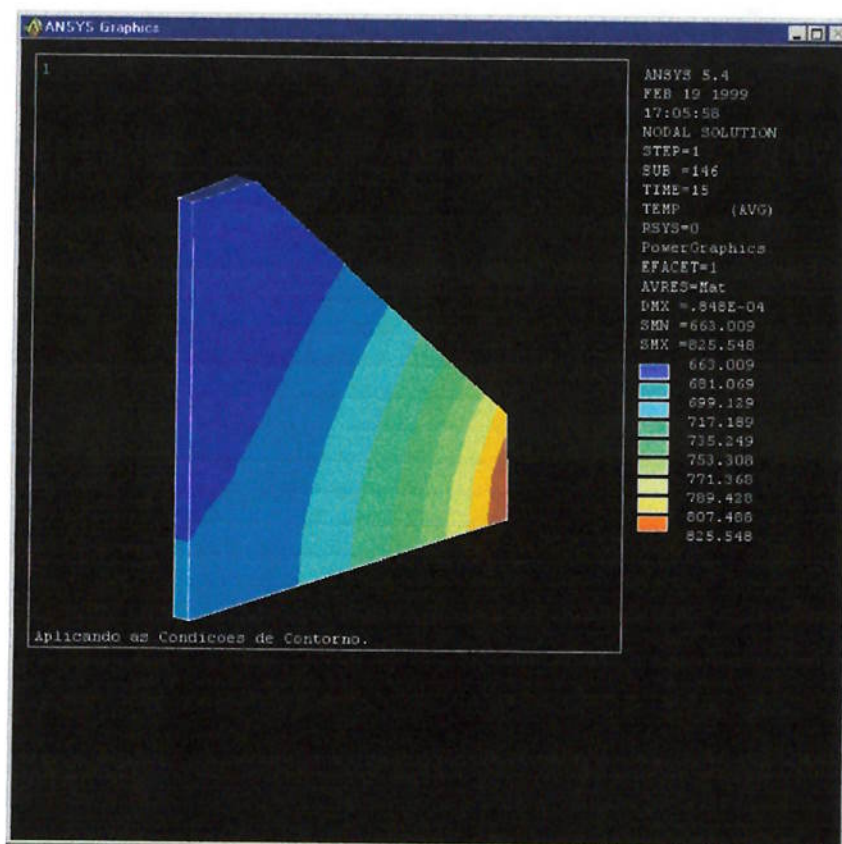


Fig. 6.1 Gradiente de temperatura: 15s de aquecimento e fonte de 1kVA

O material do corpo de prova é um aço carbono 1020 e as propriedades consideradas foram propriedades médias.

O mesmo corpo de prova foi submetido a um aquecimento de 20 segundos simulando-se a mesma fonte. Para este fluxo de calor (1kVA), o corpo de prova

não apresenta um acentuado gradiente de temperatura. Isto deve-se ao fato da fonte não ser potente o bastante para promover um aquecimento acelerado e localizado, permitindo que haja tempo para haver uma dissipação do calor por condução em direção ao centro do corpo.

A figura 'cheia' representa o corpo após o período de aquecimento, enquanto que a linha tracejada representa o corpo antes de sofrer a dilatação, porém deve-se observar que esta diferença é apenas qualitativa e não representando a dilatação real.

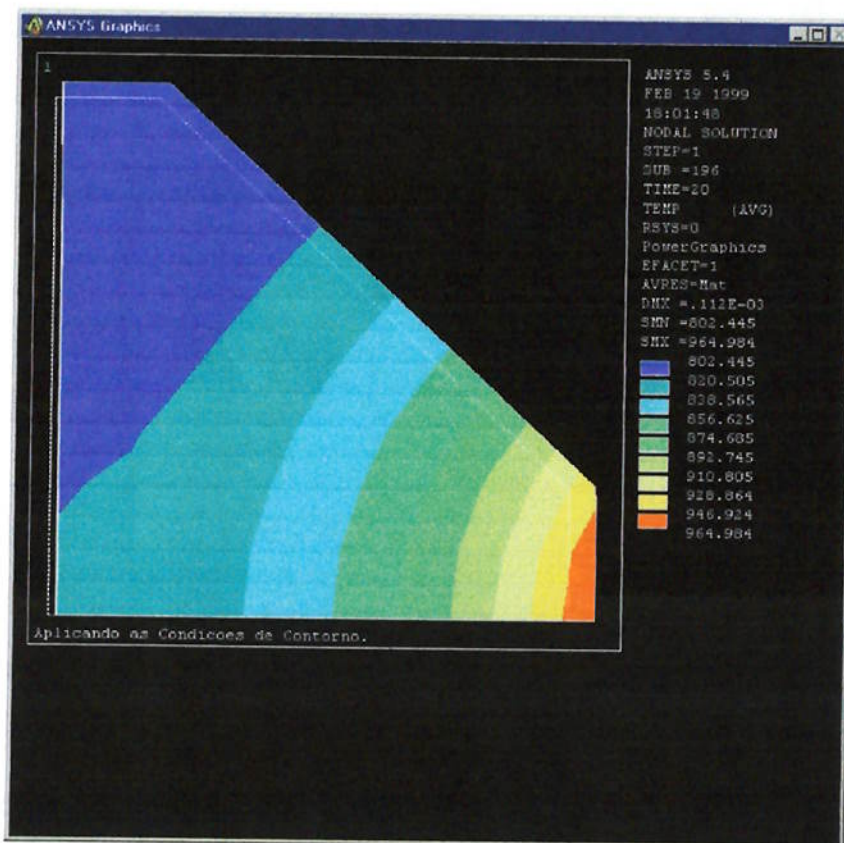


Fig. 6.2 Gradiente de temperatura e dilatação: 20s de aquecimento e fonte de 1kVA

A figura a seguir apresenta um gradiente térmico bastante acentuado. Isto deve-se ao fato de que a fonte simulada possuía uma potência cinco vezes maior. Como a potência é bastante elevada foi necessário reduzir o tempo para que temperatura muito elevadas não fossem atingidas (fusão do material).

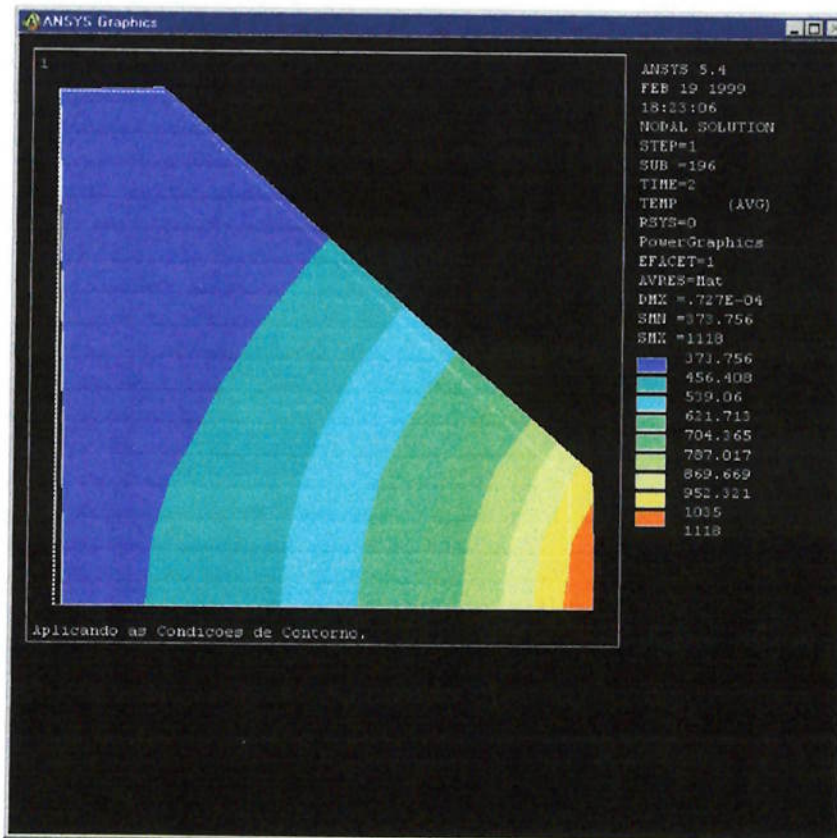


Fig. 6.3 Gradiente de temperatura e dilatação: Aquecimento por 2s e fonte de 5kVA

Esta diferença de potência associada à condutividade térmica promove um elevado aquecimento local, porém não há 'tempo suficiente' para que a energia fornecida ao corpo seja conduzida através do material. Pode-se então interpretar a condutividade térmica não somente como uma medida de velocidade de propagação de energia, mas também como uma medida de acúmulo de energia

na região que está submetido ao fluxo de calor. Com isso temos que quanto maior é a condutividade menor é o acúmulo localizado de energia.

Tal interpretação pode ser melhor entendido a partir da figura 6.4. Nesta simulação apenas a condutividade térmica foi alterada, tendo um valor equivalente ao de um aço cromo (Cr 20%) cujo valor é de aproximadamente 22J/s.m.K. Esta condutividade é aproximadamente a metade da condutividade do aço (48.9J/s.m.K).

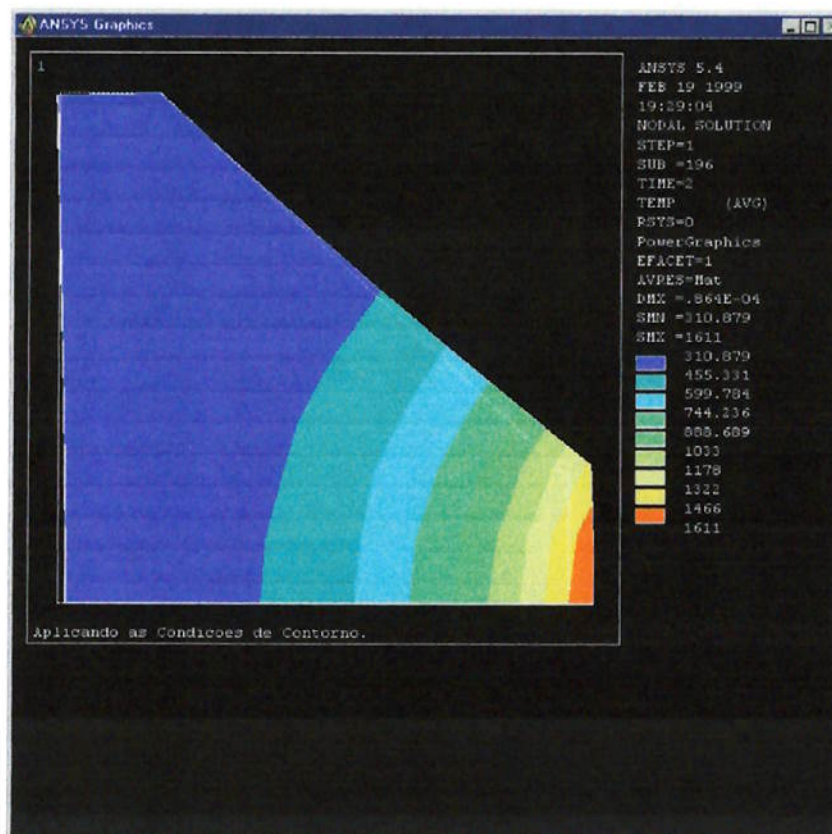


Fig. 6.4 Gradiente de temperatura e dilatação: Aquecimento por 2s, fonte de 5kVA e condutividade térmica de 22J/s.m.K

Toda a simulação foi executada no modo interativo do ANSYS, porém dentro deste modo eram chamados arquivos "batch" que continham todas as instruções necessárias.

A geometria foi parametrizada para facilitar uma eventual alteração nas dimensões e na forma do corpo. Esta parametrização permite, porém, a geração de um número limitado de formas para o corpo de prova.

No Anexo 1 estão apresentadas as listagens dos arquivos "batch". As propriedades dos materiais podem ser verificadas no arquivo *EntDados.inp* de entrada de dados.

7 CONCEPÇÃO DO DISPOSITIVO

O projeto do dispositivo está detalhado nos desenhos no Anexo 3.

Há dois temporizadores que controlam os tempos de aquecimento e resfriamento, respectivamente. Os tempos são independentes, podendo ter tempos diferentes para cada um dos ciclos, limitados apenas em 60 segundos como o tempo máximo de um ciclo.

Os temporizadores estão ligados entre si por um circuito eletrônico de retardo para que eles trabalhem sincronizados. A contagem em um deles somente começa após o outro ter completado o tempo do seu ciclo.

O acionamento do pistão pneumático é controlado por válvulas solenóides e o sincronismo entre elas é controlado pelos temporizadores.

O corpo de prova permanecerá dentro da espira apenas o tempo ajustado no temporizador que controla o ciclo de aquecimento. Terminado este tempo, a válvula que contrai o pistão é acionada e o corpo sofre o resfriamento. Após o tempo ajustado para este ciclo a válvula que distende o pistão é acionada e o corpo de prova é inserido novamente dentro da espira.

O projeto do dispositivo necessitava de um pistão cujo curso fosse de 350 mm, porém os pistões têm tamanhos padrões de cursos. Dessa forma foi selecionado um pistão que tivesse um curso próximo (400 mm) ao valor de projeto devido ao seu menor custo e maior rapidez de entrega.

Esta alteração impôs outra no projeto. Foi necessária a colocação de uma chave de fim de curso para que não houvesse um choque entre a haste deslizante (ref. 02 do anexo 3) e o fundo do reservatório de água de resfriamento.

8 CONCLUSÕES

A viabilidade financeira deste projeto fica comprometida devido ao alto custo da fonte de potência do forno indutor (espira). Porém, como este equipamento já está disponível, não há impedimento em relação ao custo.

A montagem deste dispositivo por outras instituições, que necessitem adquirir tal equipamento, deve analisar com bastante critério sua necessidade, ou então buscar uma outra solução viável financeiramente.

Talvez a maior limitação deste dispositivo, seja a forte dependência do tempo de aquecimento por indução das propriedades do material, restringindo a utilização do dispositivo para um número limitado de materiais.

Como o objetivo deste dispositivo é o ensaio de diferentes materiais e estes muitas vezes não têm as suas propriedades conhecidas, o projeto da espira fica bastante comprometido, de forma que as espiras serão fabricadas partindo apenas de alguns conceitos sobre o seu projeto (anexo 2).

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. JOURNAL OF MATERIALS PROCESSING TECHNOLOGY. A new high-temperature test rig for hot-rolling rolls, Elsevier Science Publishers, 1993.
 2. POHL, M. - **Testing of Resistance to Thermal Cycling and the Cavitation Behavior of Ceramics at the Institute of Materials of the RUB.** Germany, Ruhr-Universität Bochum, Workshop no Departamento de Metalurgia – EPUSP, outubro/1997.
 3. MÉMOIRES ET ÉTUDES SCIENTIFIQUES REVUE DE METALLURGIE. Rôle d'éléments Carburigènes sur la Tenue en Fatigue Thermique d'un Acier pour Cylindre de Laminage à Chaud. France, jun. 1991.
 4. WERONSKI, A. e HEJWOWSKI, T. - **Thermal Fatigue of Metals.** Marcel Dekker, Inc, USA, New York, 1991.
 5. ASM HANDBOOK. **Heat Treating: Induction Heat Treating of Steel.** United States of América, 1995, v. 4.
 6. CURTIS, F. W. – **High Frequency Induction Heating.** McGraw-Hill, USA, New York, 1950.
 7. FERNADES JR., L. – **Operação de Fornos de Indução.** ABM, São Paulo, 1983.
 8. ZINN, S. and SEMIATIN, S. L. – **Elements of Induction Heating: Design, Control and Applications.** EPRI, USA, Palo Alto, California, 1991.
 9. ANSYS USER'S MANUAL, Vol. II, Comands, Revision 5.2. SAS IP, August/1995.
 10. ANSYS USER'S MANUAL, Vol. III, Elements, Revision 5.2. SAS IP, August/1995.
 11. ANSYS USER'S MANUAL, Verification Manual, Revision 5.2. SAS IP, August/1995.
-

10 ANEXOS

10.1 Anexo 1: Listagens dos Arquivos Batch

10.1.1 FadTerm.inp:

Este arquivo é o que contém as chamadas dos demais arquivos dentro do modo interativo do ANSYS já na seqüência correta.

```
!***** Arquivo de INPUT *****!  
* /TITLE, Lendo o Arquivo de Entrada de Dados.  
  /INPUT,EntDados,inp  
  
/TITLE, Lendo o Arquivo de Propriedades dos Materiais.  
/INPUT,MatProp,inp  
  
/TITLE, Gerando a Geometria.  
/INPUT,Geo,inp  
  
/TITLE, Aplicando as Propriedades dos Materiais.  
/INPUT,AplProp,inp  
  
/TITLE, Gerando a Malha.  
/INPUT,Malha,inp  
  
/TITLE, Aplicando as Condições de Contorno.  
/INPUT,CondCont,inp  
  
/TITLE, Solução.  
/INPUT,Solucao,inp  
  
ALLSEL  
  
FINISH
```

10.1.2 EntDados.inp:

Este arquivo contém as dimensões do corpo de prova, bem como as propriedades do seu material e a potência da fonte.

```

!***** Arquivo de Entrada de Dados *****!

/OUTPUT,Debug,dbg

dif = 0.98                ! Fator de escala para seleção
PI = ACOS(-1)
TZero = 300              ! Temperatura inicial (K)

!***** Dados da Geometria *****!

HCpProva = .02           ! Altura do Corpo de Prova
HCPrint = .005          ! Altura da faixa do Corpo de Prova
DCpProva = .03          ! Diâmetro do Corpo de Prova
DCPrint = .014          ! Diâmetro intermediário do Corpo de
Prova
DCPrFuro = .01          ! Diâmetro do furo do Corpo de Prova

HAgua = .12             ! Altura do Tanque d'água
DAgua = .15             ! Diâmetro do Tanque d'água

AngAxSym = 5            ! Ângulo de Simetria (na verdade é
axi-simétrico)

!***** Propriedades dos Materiais *****!

!***** Corpo de Prova *****!

RoCProva= 7800           ! Massa Específica do Material
ECProva = 2.1E+11       ! Módulo de Elasticidade
NiCProva= .3            ! Coeficiente de Poisson
GCProva = ECProva/2/(1+NiCProva)! Rigidez ao Cisalhamento
KCProva = 48.9          ! Condutividade Térmica
Alpha = 1.3E-5          ! Coeficiente de Expansão Térmica
QE = 465                ! Calor Especifico (J/kg K)

!***** Característica da Fonte de Alimentação *****!

Power = 5000            ! Potência da Fonte (W)
Efic = .8               ! Fator de Transferência de Potência

SPower = Efic*Power/(PI*DCpProva*HCPrint) ! Potência por m2
    
```

10.1.3 MatProp.inp:

Aqui as propriedades dos materiais cujos valores foram especificados no arquivo *EntDados.inp*, são associadas ao material (e.g., aço).

```

!***** Propriedades dos Materiais e Tipos de Elementos *****!
/PREP7
!***** Corpo de Prova *****!

Aco=1                ! Material do Corpo de Prova

MP,DENS,Aco,RoCProva ! Massa Específica
MP,EX,Aco,ECProva    ! Módulo de Elasticidade
MP,NUXY,Aco,NiCProva ! Coeficiente de Poisson
MP,GXY,Aco,GCProva   ! Rigidez ao Cisalhamento
MP,KXX,Aco,KCProva   ! Condutividade Térmica
MP,ALPX,Aco,Alpha    ! Coeficiente de Expansão Térmica
MP,C,Aco,QE          ! Calor Específico

etCProva=1          ! Element Type do Corpo de Prova

!***** Element Types *****!

ET,etCProva,SOLID5  ! SOLID5 é um elemento definido pelo ANSYS
    
```

10.1.4 Geo.inp:

A geração da geometria vista nas figuras 6.1 a 6.4, é efetuada quando este arquivo é chamado.

```

!***** Arquivo de Geração da Geometria *****!

/PREP7
/VIEW,,-.5,.25,.75

!***** Gerando os Pontos *****!

LOCAL,11,1,,,,,-90,
CSYS,11

*DO,i,0,3
  *IF,i,EQ,0,THEN
    Altura = 0
    Diametro = DCpProva
  *ELSEIF,i,EQ,1,THEN
    Altura = HCPrInt
    Diametro = DCpProva
  *ELSEIF,i,EQ,2,THEN
    Altura = HCpProva
    Diametro = DCPrInt
  *ELSE
    Altura = HAqua
    Diametro = DCPrInt
  *ENDIF
  *DO,j,0,1
    K,,DCPrFuro/2,j*AngAxSym,Altura/2
    K,,Diametro/2,j*AngAxSym,Altura/2
    K,,DAqua/2,j*AngAxSym,Altura/2
  *ENDDO
*ENDDO

!***** Gerando os Volumes pelos pontos *****!

V,1,2,8,7,4,5,11,10
V,7,8,14,13,10,11,17,16
CM,CpProva,VOLUME
ALLSEL,ALL
CMSEL,U,CpProva

!***** Selecionando e Plotando os Volumes *****!

ALLSEL,ALL
VPLOT
    
```

10.1.5 AplProp.inp:

Associa o material, já com as suas propriedades, e o tipo de elemento ao componente, neste caso o corpo de prova.

```
!***** Aplicação das Propriedades *****!  
  
/PREP7                ! Habilita o pré-processamento  
  
!***** Corpo de Prova *****!  
  
CMSEL,S,CpProva      ! Seleciona o componente CpProva  
VATT,Aco,,etCProva  ! Atribui o material e o tipo de elemento  
  
ALLSEL,ALL           ! Seleciona tudo  
VPLOT                ! Apresenta todos os volumes selecionados
```

10.1.6 Malha.inp:

Configura o tamanho da malha para a solução numérica do problema. A malha caracteriza a resolução numérica, neste caso por elementos finitos.

```
!***** Geração da Malha *****!  
  
/PREP7  
CSYS,11  
  
ESIZE,0.0015         ! Define o Tamanho do Elemento  
CMSEL,S,CpProva      ! para o Corpo de Prova  
VMESH,ALL            ! Gera Malha no Elemento  
  
ALLSEL,ALL  
ALLSEL,BELOW,VOLUME  
EPLOT
```

10.1.7 CondCont.inp:

Este arquivo aplica as condições de contorno do problema.

```

!***** Condições de Contorno *****!

/PREP7                                ! Habilita o pré-processamento

!***** Condição de contorno nos nós da sup. do furo *****!

ALLSEL,ALL                            ! Seleciona tudo
CMSEL,S,CpProva                        ! seleciona o componente CpProva
ALLSEL,BELOW,VOLUME                   ! Seleciona tudo abaixo de volume
BFUNIF,TEMP,TZero                      ! Aplica temperatura inicial uniforme

! ** Condição de contorno nos nós das faces laterais (simetria) **!

*DO,i,0,1
  CSYS,11
  CMSEL,S,CpProva
  ALLSEL,BELOW,VOLUME
  NSEL,R,LOC,Y,i*AngAxSym
  CSYS,0
  LOCAL,12+i,0,,,,,i*AngAxSym
  DSYM,SYMM,Z,12+i                    ! Aplica condições de contorno de simetria
  SF,ALL,HFLUX,0                      ! Fluxo nulo de calor: superfície adiabática
*ENDDO

! *** Condição de contorno nos nós das sup. inferior e superior ***!

CSYS,11
CMSEL,S,CpProva
ALLSEL,BELOW,VOLUME
NSEL,R,LOC,Z,0
DSYM,SYMM,Z,11                        ! Aplica condições de contorno de simetria
SF,ALL,HFLUX,0                        ! Fluxo nulo de calor: superfície adiabática

CMSEL,S,CpProva
ALLSEL,BELOW,VOLUME
NSEL,R,LOC,Z,HCpProva/2
SF,ALL,HFLUX,0                        ! Fluxo nulo de calor: superfície adiabática

! ***** Condição de contorno nos nós da sup. cônica *****!

ALLSEL
ALLSEL,BELOW,VOLUME
NSEL,S,EXT
NSEL,U,LOC,Z,0,(HCPrInt/2)*dif
NSEL,U,LOC,X,,(DCPrInt/2)*dif
NSEL,U,LOC,Y
NSEL,U,LOC,Y,AngAxSym
CM,NosCone,NODE

```

ALLSEL
 ALLSEL,BELOW,VOLUME
 CSKP,12,0,8,14,7
 CSKP,13,0,11,17,10

CSYS,11
 NSEL,S,LOC,Y
 CSYS,12
 NSEL,R,LOC,Y
 CMSEL,A,NosCone
 CM,NosCone,NODE

CSYS,11
 NSEL,A,LOC,Y,AngAxSym
 CSYS,13
 NSEL,R,LOC,Y
 CMSEL,A,NosCone
 CM,NosCone,NODE

CSYS,11

CMSEL,S,NosCone
 SF,ALL,HFLUX,0 ! Fluxo nulo de calor: superfície adiabática

!**** Condição de contorno nos nós da sup. de troca de calor ****!

CMSEL,S,CpProva
 ALLSEL,BELOW,VOLUME
 NSEL,R,LOC,X,DCpProva/2
 SF,ALL,HFLUX,SPower ! Fluxo de calor: superfície cilíndrica
 externa

10.1.8 Solucao.inp:

Habilita a solução e ajusta alguns parâmetros antes de executá-la.

```
!***** Solução *****!  
  
FINISH  
  
!***** Tipo de Analise *****!  
  
/SOLU  
ANTYPE,TRANS          ! Configura o tipo de análise como  
transiente  
  
ALLSEL,ALL  
CMSEL,S,CpProva  
BFCUM,TEMP,REPL,,Tzero  
TIMERANGE,0,2  
TIME,2                ! Define o tempo que dura o aquecimento  
TIMINT,ON,ALL  
TREF,Tzero  
DELTIM,0.05,0.01,0.1  
KBC,1  
AUTOTS,ON  
OUTRES  
  
SOLVE  
  
/VIEW,,-.5,.25,.5  
SAVE
```

10.2 Anexo 2: Projeto da Espira

Talvez a espira seja o componente mais importante em um sistema de aquecimento indutivo. Ela pode ser produzida em uma grande variedade de formas, tamanhos e estilos de acordo com o formato e dimensão da região a ser aquecida.

O aquecimento indutivo é largamente utilizado para tratamento térmico superficial em função da necessidade, em geral, de um rápido aquecimento para efetuá-lo.

O par espira/corpo de prova atua como um transformador de voltagem, onde a espira é o elemento primário com N voltas e o corpo de prova é o secundário com uma única volta e curto-circuitada. Dessa forma tem-se que a corrente induzida no corpo de prova é proporcional ao número de voltas da espira e da corrente que por ela circula.

Estas correntes induzidas surgem no corpo de prova como uma reação ao fluxo variável de linhas de campo magnético que passam por ele, tendendo a anular este campo. Como resultado, tem-se o aquecimento devido ao efeito Joule:

$$P = R.I^2$$

Deve ser observado também que esse fluxo de campo magnético é função da frequência da corrente alternada que passa pela espira. O aumento na frequência resulta em uma maior concentração das linhas de campo magnético nas proximidades da espira. Esta característica resulta no chamado efeito

pelicular. Assim o efeito pelicular é tão maior quanto maior a frequência da corrente alternada.

Define-se então um parâmetro denominado profundidade de referência ou profundidade de penetração. Este parâmetro fornece a profundidade efetiva de penetração das correntes induzidas no corpo de prova de é dado por:

$$d = 5000 \cdot (\rho/\mu \cdot F)^{1/2},$$

onde ρ é a resistividade do material (Ω/cm), μ é a permeabilidade magnética relativa e F é a frequência da corrente alternada (Hz). A profundidade de penetração é obtida em centímetros.

A profundidade de referência é a distância da superfície da peça cuja força do campo de indução e a corrente representam apenas 37% do valor da superfície e a densidade de potência é 14% [8:15].

Da termodinâmica vem ainda que:

$$P = m \cdot c_p \cdot \overline{\Delta T},$$

onde m é a massa aquecida, c_p é o calor específico do material e $\overline{\Delta T}$ é a variação de temperatura.

Assim tem-se que, para uma dada variação média de temperatura requisitada, obtém-se uma aproximação para a potência.

Para materiais ferrosos tem-se que o fator de transferência de potência é aproximadamente 80% da potência de saída da fonte [7:37].

Dessa forma tem-se duas etapas para um pré-dimensionamento do equipamento:

Pré-dimensionamento da Fonte

$d = 5000 \cdot (\rho/\mu \cdot F)^{1/2}$, profundidade de penetração

$q_1 = q_2/\beta$, onde β é o fator de transferência de potência de acordo com o tipo de material; q_1 é a potência na espira (saída da fonte)

$q_2 = m \cdot c_p \cdot \overline{\Delta T}/t$, potência requerida para uma dada variação média de temperatura ($\overline{\Delta T}$) em um determinado tempo (t) em um corpo de prova de massa m e calor específico c_p

$q_2 = I_2 \cdot R_2^2$, perda por efeito Joule no corpo de prova

mas, $R_2 = \rho \cdot A/l = \rho \cdot d \cdot h/\pi \cdot \phi$, onde R_2 é resistência elétrica da peça

Rearranjando obtém-se I_2 , necessário para o pré-dimensionamento da espira.

Pré_dimensionamento da Espira

Com o forno selecionado tem-se o valor da corrente na espira (I_1), assim vem que:

$$N_1/N_2 = I_2/I_1, \text{ porém } N_2 = 1 \text{ (corpo de prova)}$$

$$\text{então, } N_1 = I_2/I_1$$

Obtém-se dessa forma um primeiro valor para o número de espiras necessárias para aquecer o corpo de prova.

Neste momento algumas observações devem ser feitas:

- a espira foi pré-dimensionada para uma determinada altura, diâmetro e material do corpo de prova;
 - a temperatura média pode ser estimada utilizando-se um método numérico – por exemplo na figura 6.2 a temperatura média após o aquecimento de 20s é de aproximadamente 857K;
 - para a máxima transferência de potência da espira para a peça, este par deve estar bem acoplado. O grau de acoplamento entre a peça e o campo magnético da espira é determinado pelo número de linhas de fluxo magnético que penetram na peça [5:166]. Em outras palavras, quanto maior a frequência, menor deve ser a distância entre a espira e a peça para que haja um bom acoplamento e se tenha a máxima transferência de potência;
 - deve-se atentar ainda para o resfriamento da espira para que esta não sofra um sobre aquecimento e para o diâmetro do tubo que a
-

compõe. Geralmente tubos de 1/8 a 1/4 de polegada são empregados na construção da espira, sendo utilizados também tubos de 3/8 ou 1/2 de polegada [6:71]; e

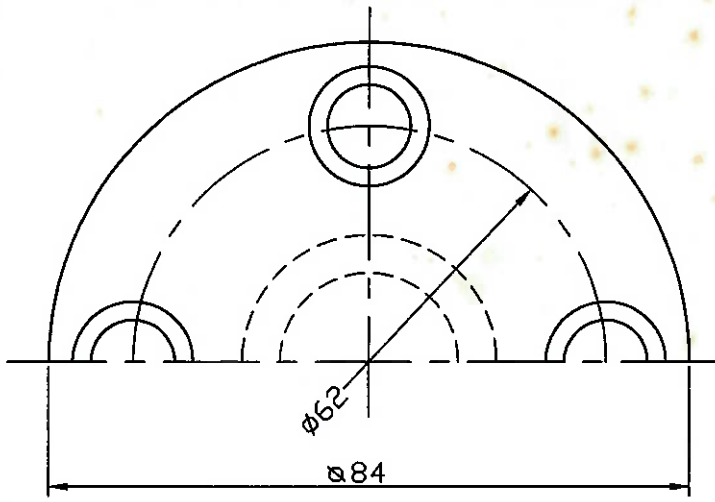
- grande parte do desenvolvimento de um bom projeto da espira baseia-se na prática do projetista e em dados empíricos. Dessa forma, partindo-se de um pré-cálculo, a espira deve ser testada para verificar se satisfaz às requisições do projeto.

10.3 Anexo 3: Desenhos de Projeto

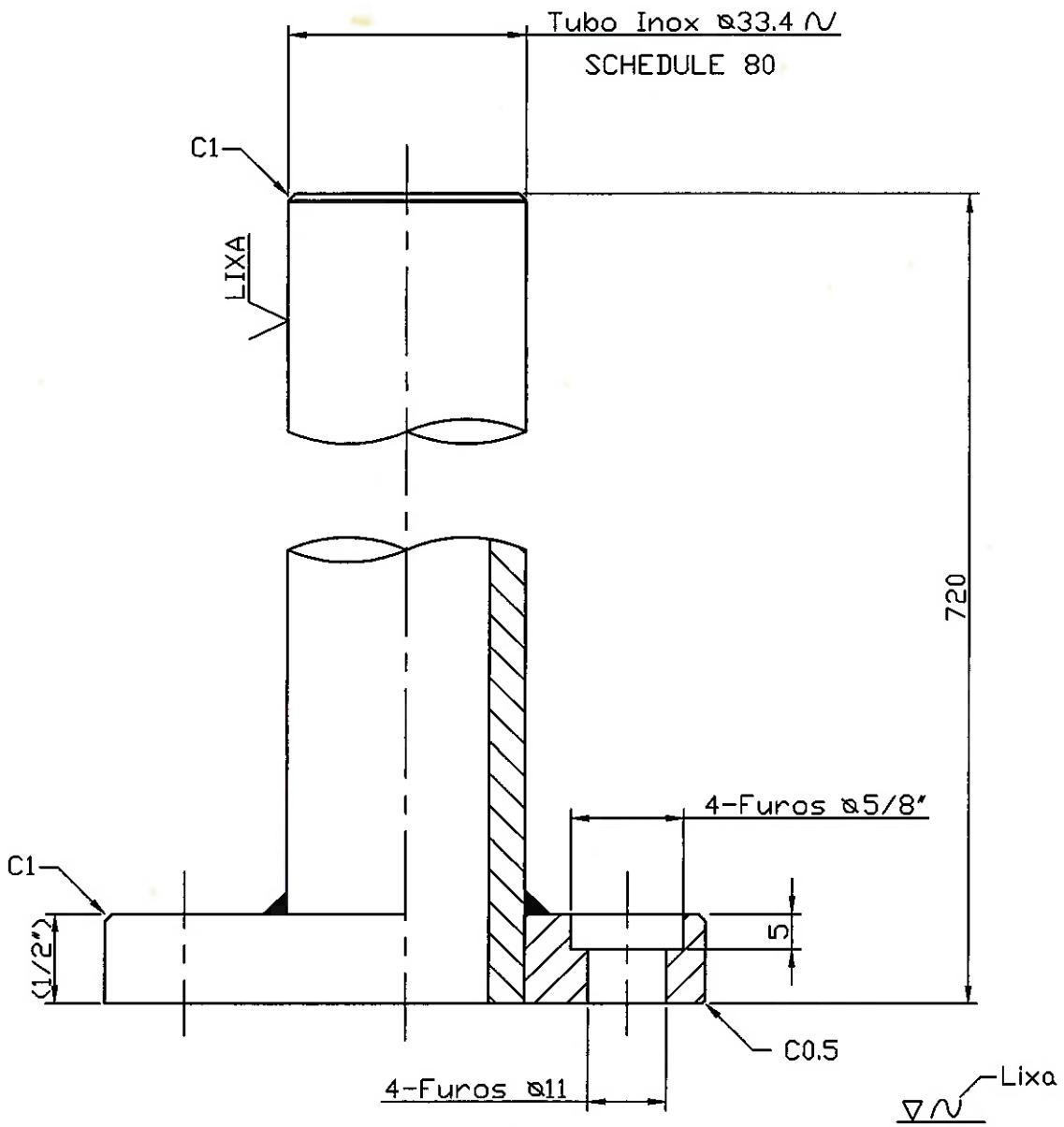
A seguir serão apresentados os desenhos de projeto do dispositivo para ensaio de fadiga térmica. O primeiro desenho é o de conjunto e as partes que o compõe são apresentados na seqüência dada pelos números de referência indicados no desenho de conjunto.

Os três últimos desenhos apresentam a lógica do acionamento do pistão e das válvulas solenóides.

Os desenhos indicados pela referência 'xx' compõe a caixa de controle, onde ficarão os temporizadores, uma chave liga/desliga e uma lâmpada de 'status' (ligado ou desligado). Desta caixa partirão os fios do controle das válvulas solenóides.

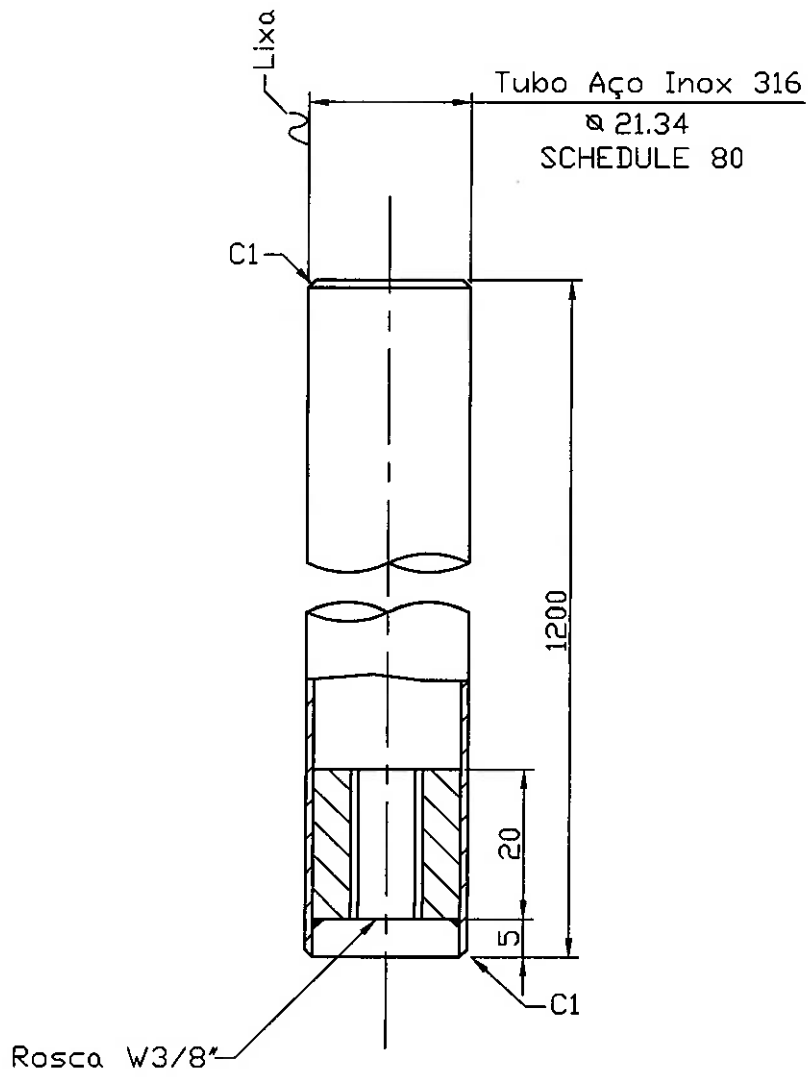


VISTA FRONTAL

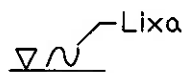


VISTA SUPERIOR

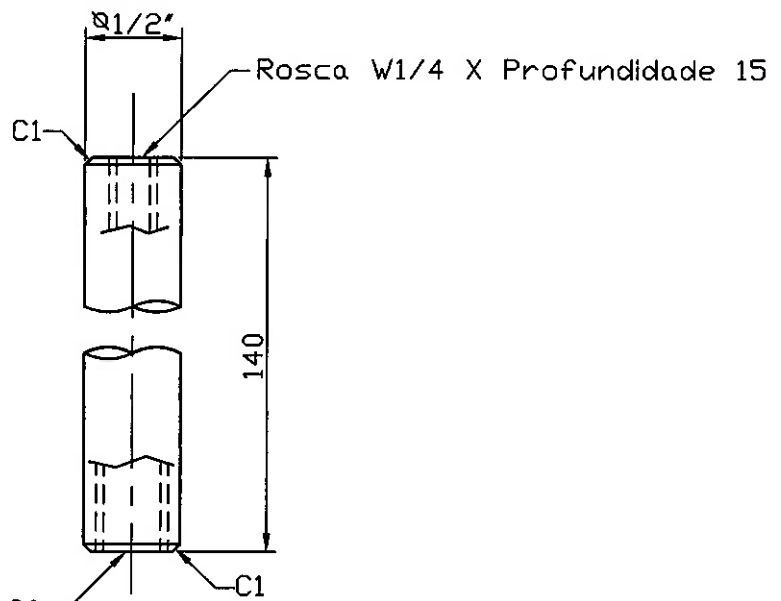
Ref: 01	Título: Viga de Apoio	Material: AÇO INOX 316	Quant: 01	Esc: 1/1
---------	-----------------------	------------------------	-----------	----------



VISTA FRONTAL



Ref.:	Título :	Material :	Quant.:	Esc.:
02	Haste Deslizante	AÇO INOX 316	01	1/1



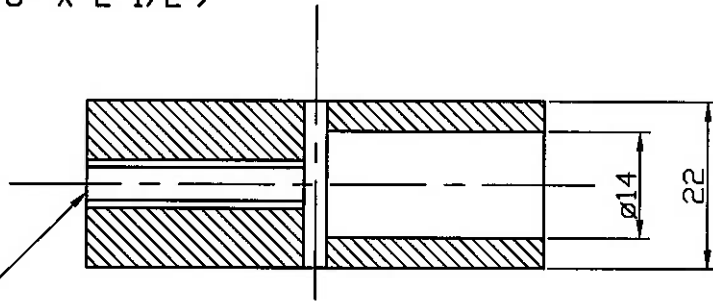
Rosca W3/8' X Profundidade 20

∇

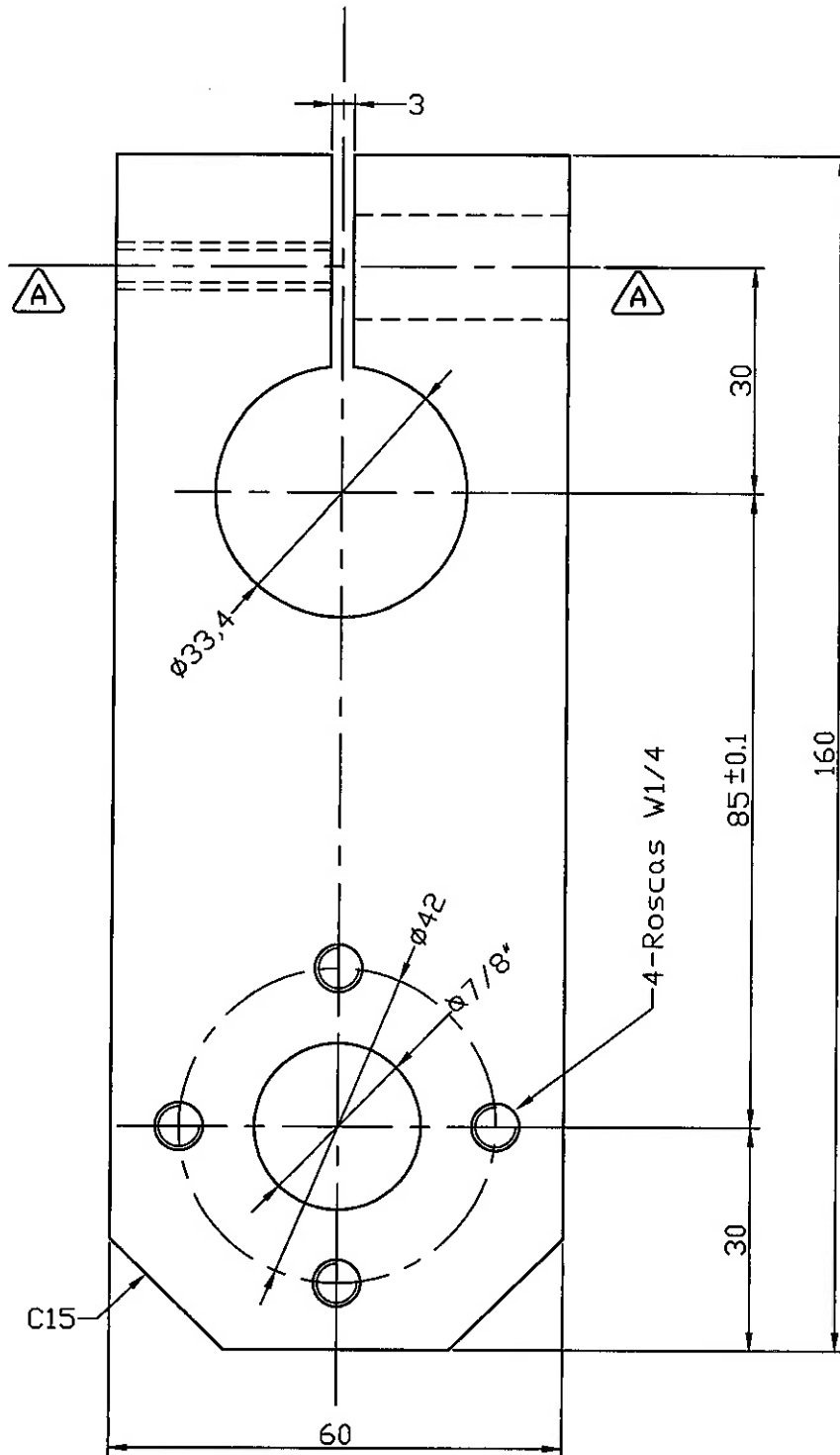
Ref.:	Título :	Material :	Quant.:	Esc.:
04	Haste do C. de Prova	AÇO INOX 316	01	1/1

BARRA CHATA (7/8" X 2 1/2")

Rosca W1/2"



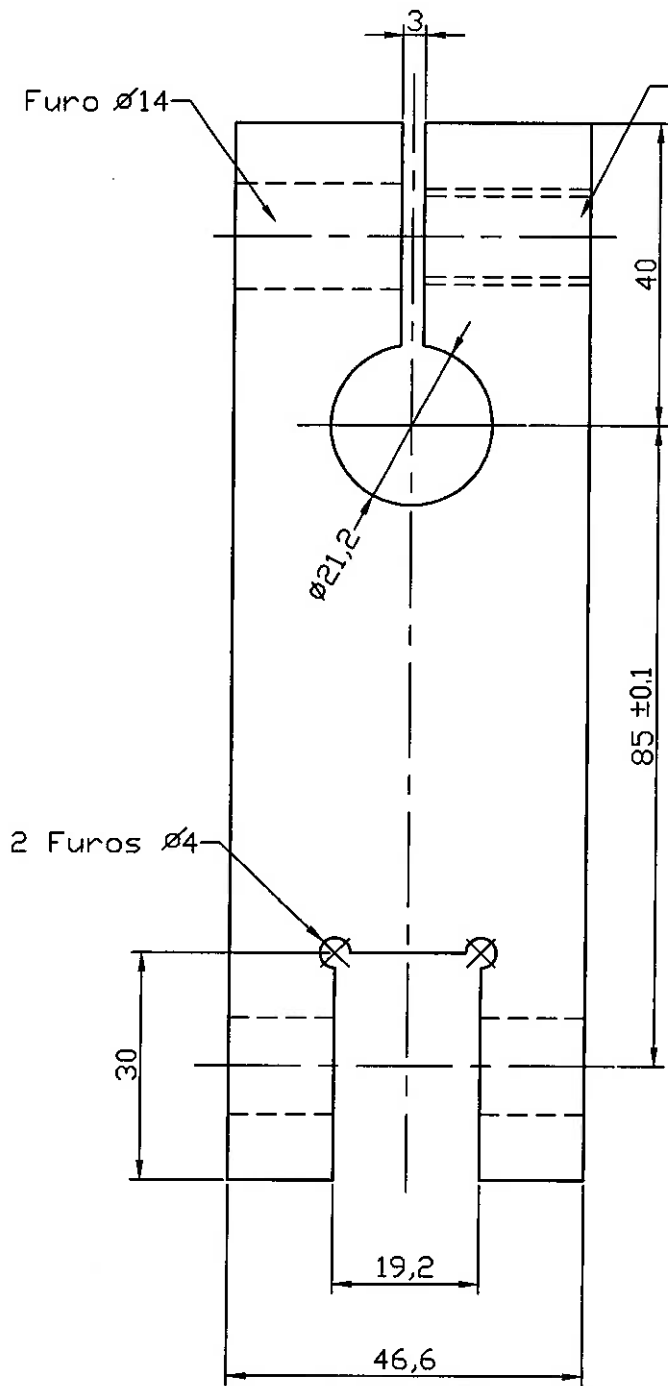
CORTE A-A



VISTA SUPERIOR

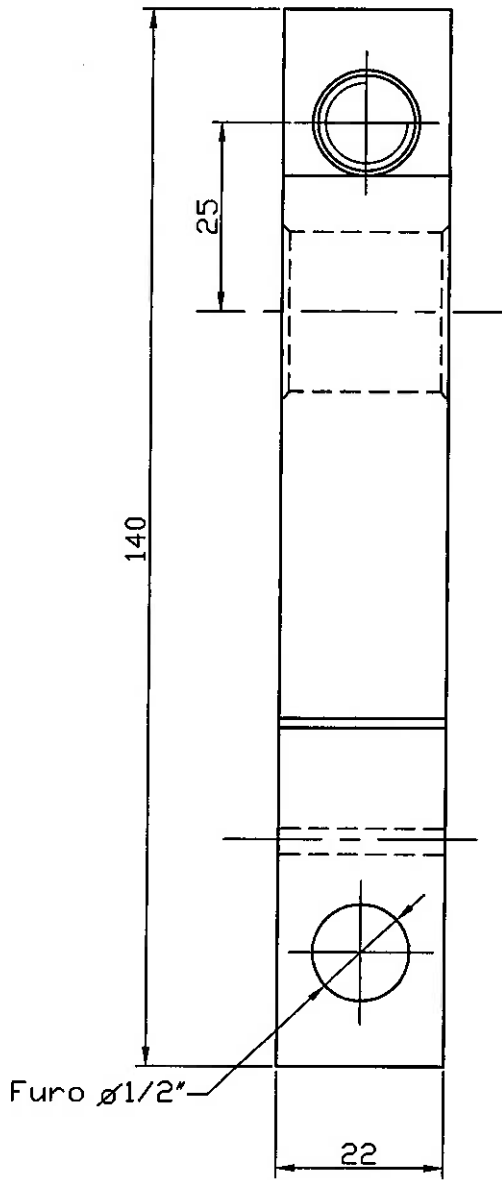
Ref.: 05	Título: Braço Mancal	Material: AÇO SAE 1020	Quant.: 01	Esc.: 1/1
-------------	-------------------------	---------------------------	---------------	--------------

BARRA CHATA (7/8" X 2 1/2")



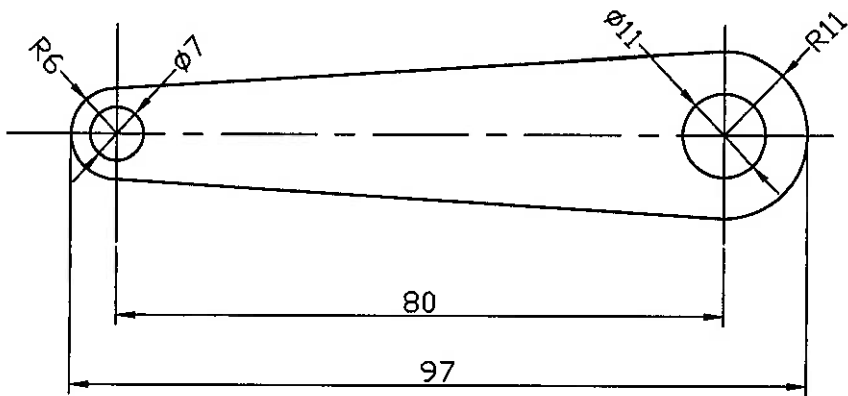
VISTA SUPERIOR

Rosca W1/2"

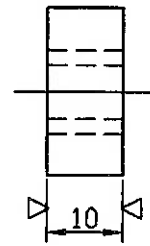


VISTA LATERAL

Ref.: 06	Título: Braço do Pistão	Material: AÇO SAE 1020	Quant.: 01	Esc.: 1/1
-------------	----------------------------	---------------------------	---------------	--------------



VISTA SUPERIOR

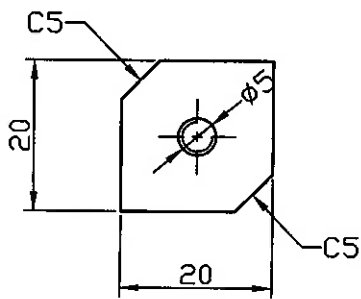


VISTA LATERAL

~ ▽

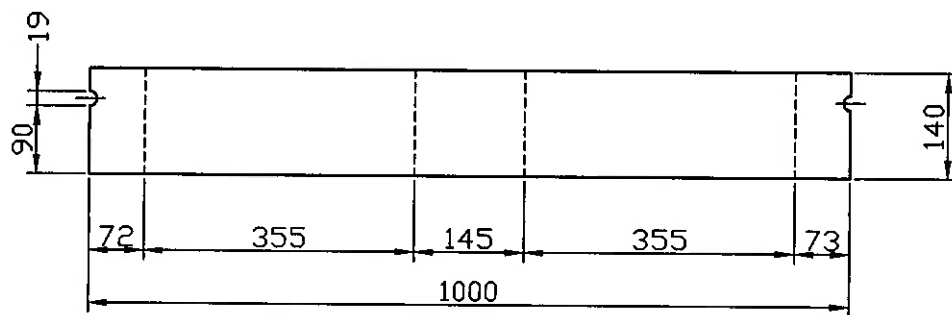
CHAPA 1/2" X 100 X 22

Ref.: 07	Título: Braço do C. de Prova	Material: AÇO INOX 310	Quant.: 01	Esc.: 1/1
-------------	---------------------------------	---------------------------	---------------	--------------



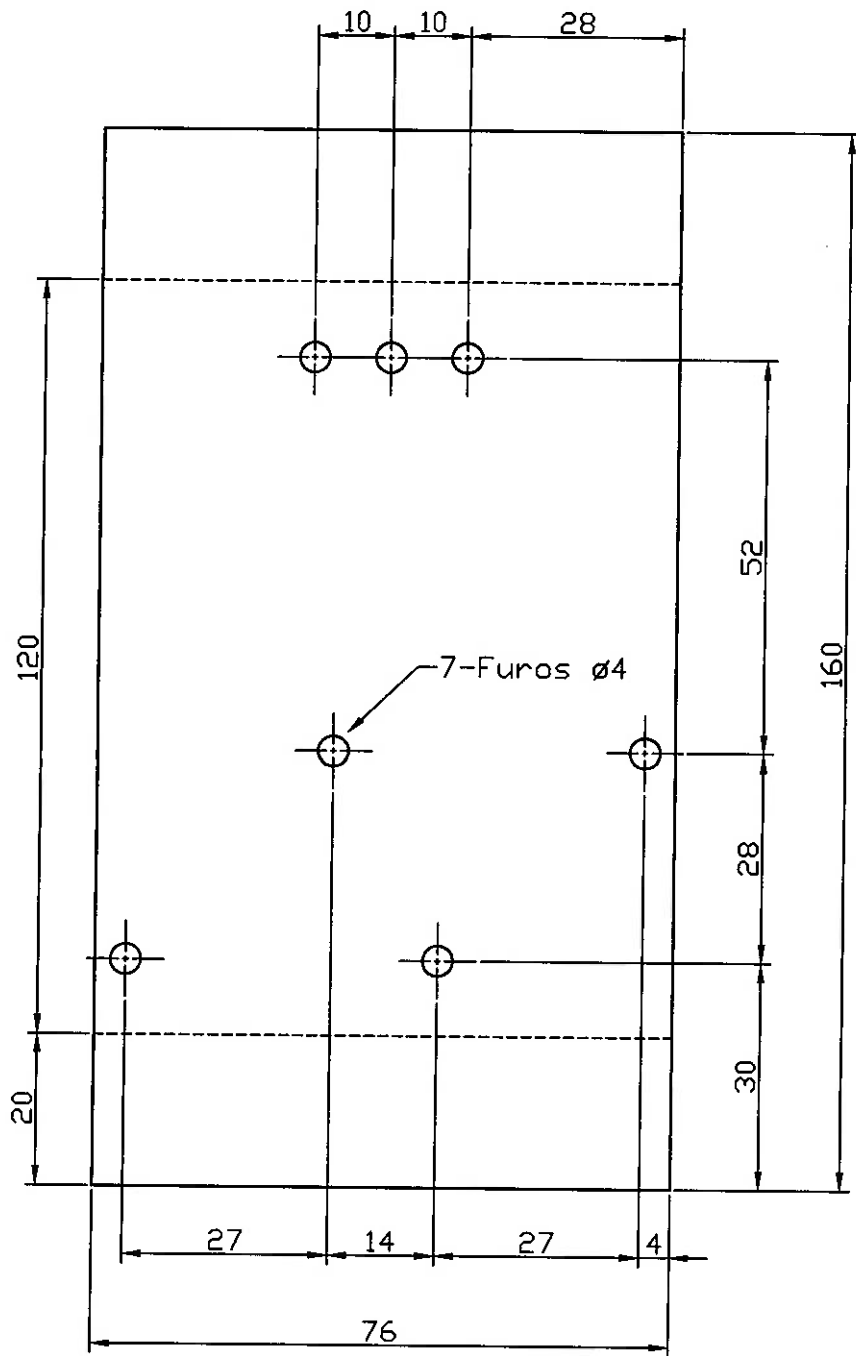
----- Dobra

Ref.: XX	Titulo : Porca	Material : AÇO SAE 1020	Quant.: 08	Esc.: 1/1
-------------	-------------------	----------------------------	---------------	--------------



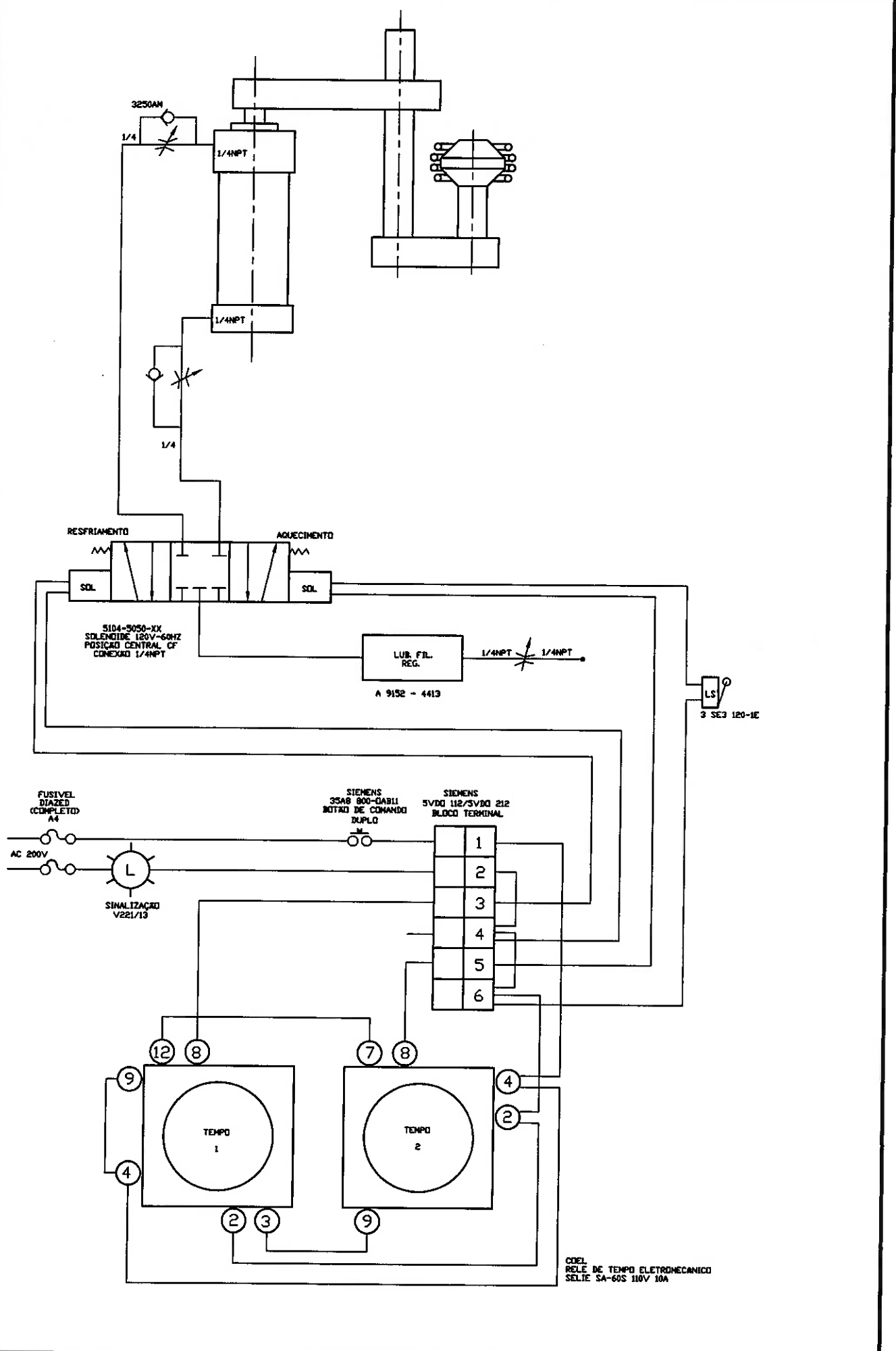
----- Dobra

Ref.:	Título :	Material :	Quant.:	Esc.:
XX	Chapa Lateral	AÇO INOX 316	01	1/10



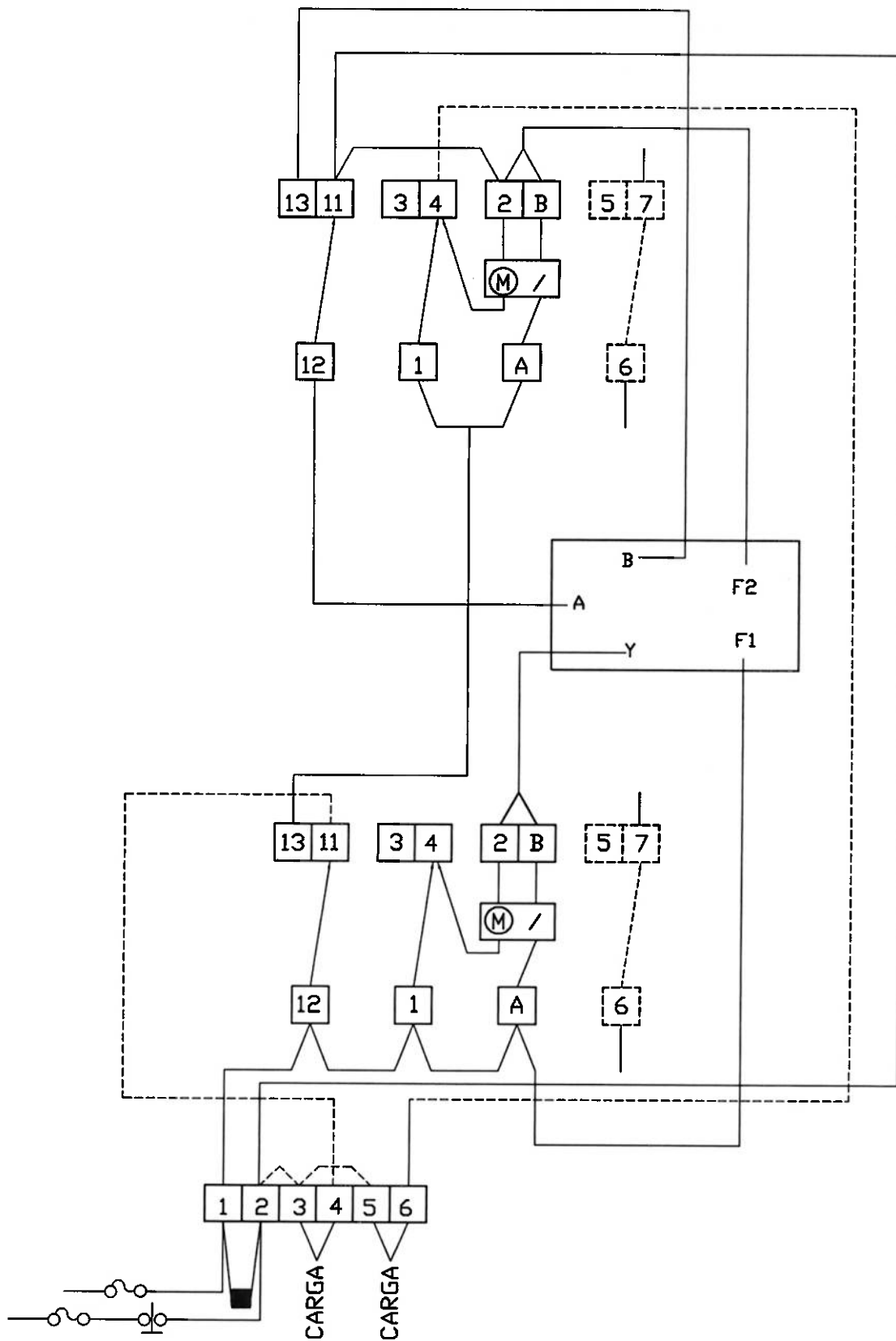
----- Dobra

Ref.: XX	Título : Passagem de Fio	Material : AÇO INOX 316	Quant.: 01	Esc.: 1/1
-------------	-----------------------------	----------------------------	---------------	--------------



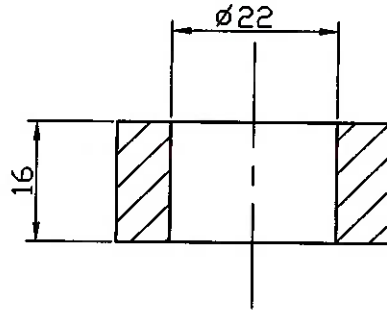
Título :

Circuito de Alimentação do Pistão

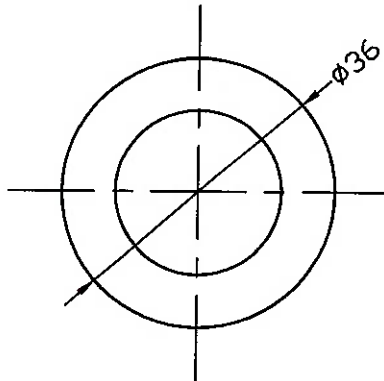


Título :

Circuito de Ligação dos Temporizadores

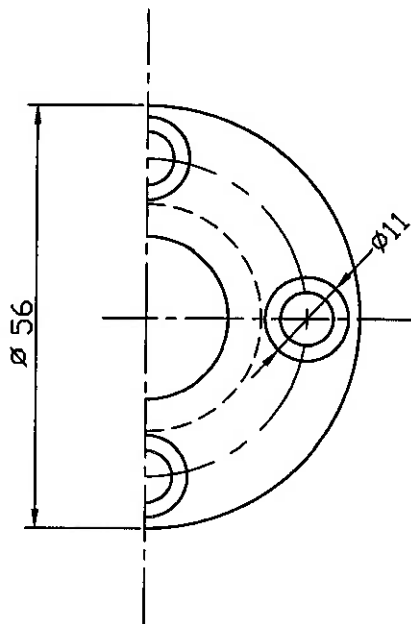


CORTE A-A

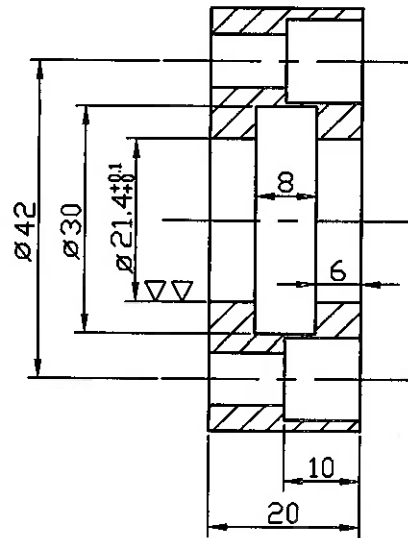


VISTA SUPERIOR

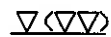
Ref.: 09	Título: Amortecedor	Material: BORRACHA SINTÉTICA	Quant.: 01	Esc.: 1/1
-------------	------------------------	---------------------------------	---------------	--------------



VISTA SUPERIOR

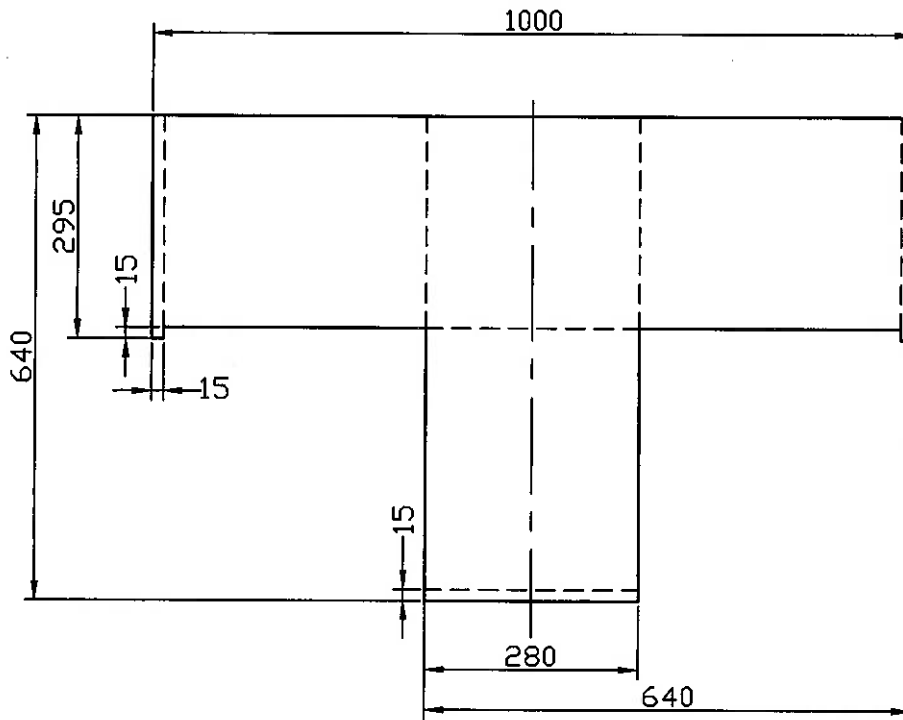


VISTA A

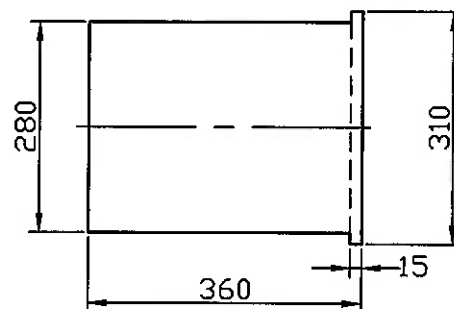


Ref.: 10	Título : Mancal de Deslizamento	Material : LATÃO	Quant.: 02	Esc.: 1/1
-------------	------------------------------------	---------------------	---------------	--------------

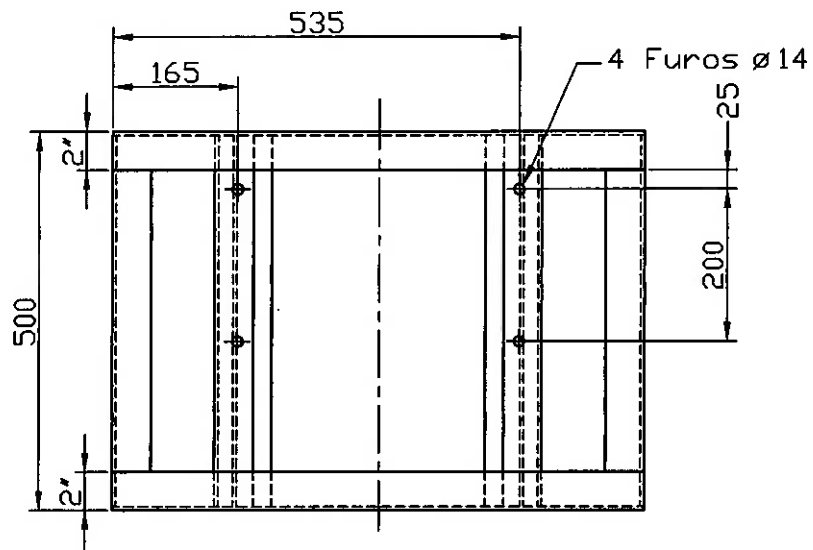
Chapa No 17 (esp. 1,43mm)



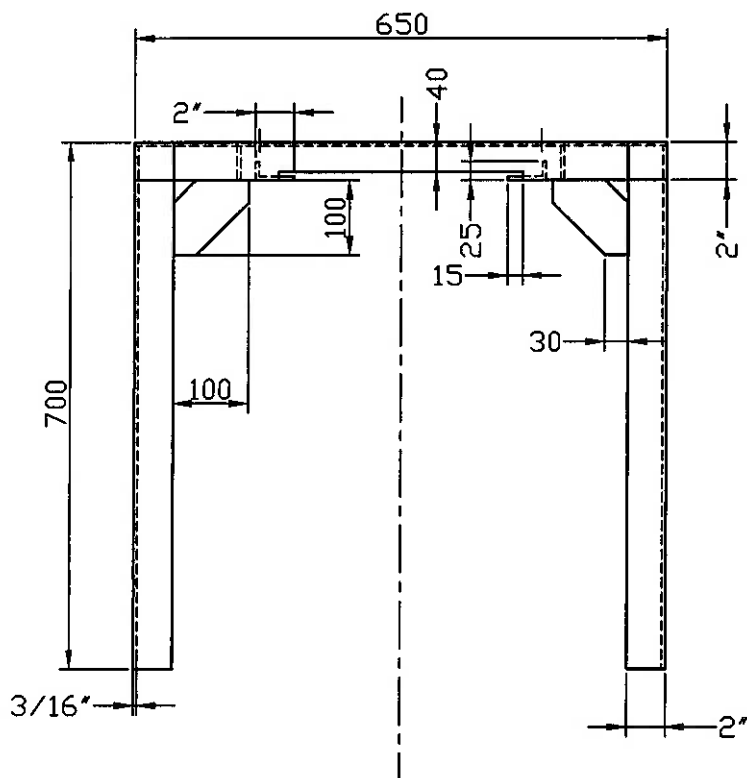
----- Dobra



Ref.:	Título :	Material :	Quant.:	Esc.:
11	Caixa d'água	AÇO INOX 316	01	1/10



VISTA FRONTAL



VISTA SUPERIOR

Ref.: 12	Título : Base da Mesa	Material : AÇO SAE 1020	Quant.: 01	Esc.: 1/10
-------------	--------------------------	----------------------------	---------------	---------------