

OK

São Paulo
2004

**ESTUDO E AVALIAÇÃO DO ATRITO TRANSVERSAL NOS
LIMITADORES CILÍNDRICOS DE BALÕES TÊXTEIS**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
RODRIGO ANTONIO SITTA

**ESTUDO E AVALIAÇÃO DO ATRITO TRANSVERSAL NOS
LIMITADORES CILÍNDRICOS DE BALÕES TÊXTEIS**

RODRIGO ANTONIO SITTA

Dissertação apresentada a Universidade
de São Paulo para obtenção do título de
Mestre, sob orientação do Prof. Dr. Raul
Gonzalez Lima

São Paulo
2004

Dedico este trabalho a todos aqueles que torcem pelo meu sucesso profissional e pessoal e que, de alguma forma, forneceram o suporte necessário para que eu pudesse concluir esta etapa, em especial a minha mulher e meu filho pela compreensão e apoio, meus pais Donglei pelo incentivo e Maria Teresa pela saúde, minha segunda mãe Gilda e todos meus irmãos e amigos.

DEDICATÓRIA

AGRADECIMENTOS

A todos aqueles que tornaram possível a conclusão de mais esta etapa de minha formação profissional, em especial aos senhores Ildu Gomes Costa e engenheiro Gabriel Francês de Matos da Karibê Ind. & Com. Ltda, ao meu orientador Prof. Dr. Raul Gonzalez Lima, ao Professor Ryszard Majewski, ao Prof. Dr. Carlos C. C. Tu e ao Prof. Dr. João P.P. Marciano.

A new device was developed allowing the measurement of the transversal friction coefficient between yarn and the balloon limiter of a "two-for-one" twisting frame. In this apparatus, the normal force can be varied independently of the transversal speed of the yarn. This allows that the aerodynamic drag coefficient of the yarn sliding on the balloon limiter surface to be separated from the Coulomb friction coefficient. Experimental results of the transversal friction coefficient are shown.

KEYWORDS: twisting frame, textile, transversal friction.

ABSTRACT

Resumo

Um novo dispositivo foi desenvolvido permitindo a medição do coeficiente de atrito transversal entre um fio e o limitador de balão de retorcedoras "dois por um". Este aparelho possibilita a variação da velocidade transversal do fio independentemente da força normal. Isto permite que o arrasto aerodinâmico sobre o fio seja avaliado e discriminado do coeficiente de atrito de Coulomb. Estimativas experimentais para o coeficiente de atrito transversal de Coulomb são apresentadas.

PALAVRAS-CHAVE: retorcedeira, têxtil, atrito transversal.

LEIA-SE	ONDE SE LÊ	LOCALIZAÇÃO	INFORMAÇÃO
2005	2004	CAPA ----- PÁGINA DE ROSTO ----- FICHA CATALOGráfICA	DATA DE PUBLICAÇÃO

ERRATA

EDIÇÃO REVISADA

DISSERTAÇÃO (MESTRADO)

**ESTUDO E AVALIAÇÃO DO ATRITO TRANSVERSAL NOS LIMITADORES
CILÍNDRICOS DE BALÕES TESTEIS**

RODRIGO ANTONIO SITTA

13	1. INTRODUÇÃO
13	1.1 Processo de Retorção – Retorcedeira de Dupla-Torção
19	1.2 Limitações do Processo
23	1.3 Importância do Estudo do Atrito
25	2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA
28	3. OBJETIVO
29	4. MODELO DINÂMICO
29	4.1 Bases Teóricas do Método
37	4.2 Escolha dos Adimensionais
38	5. METODOLOGIA EXPERIMENTAL
42	5.1 Procedimento de Medição
44	6. RESULTADOS
45	6.1 Dados Experimentais
48	6.2 Resultados Estimados
53	7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS
56	8. COMENTÁRIOS FINAIS
58	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS
60	ANEXOS

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS

13	Figura 1a: Diagrama de blocos da retorcadeira.
14	Figura 1b: Método de torção concêntrico.
14	Figura 1c: Método de torção rotativo.
15	Figura 2a: Anel para controle do balão.
15	Figura 2b: Cilindro para controle do balão.
16	Figuras 3a, 3b e 3c: Esquema da torção na retorcadeira dois por um.
17	Figura 4: Esquema de um fuso de retorcadeira dois por um.
18	Figura 5: Esquema do fuso da retorcadeira moderna (dois por um).
18	Figura 6: Esquema do enrolamento da retorcadeira moderna (dois por um).
20	Figura 7: Detalhe da panela protetora do fio e panela antibalão.
21	Figura 8: Detalhe do fuso sem panela antibalão.
21	Figura 9: Detalhe anel limitador de balão.
25	Figura 10: Direção Longitudinal e transversal.
29	Figura 11: Direções positivas x, y e z.
35	Figura 12a – Forma do balão do fio para diferentes valores de μ , em gráfico polar.
35	Figura 12b – Forma do balão do fio para diferentes valores de μ , em gráfico radial.
36	Figura 13: Diagrama de blocos do programa corda.
38	Figura 14a – Dispositivo construído em esquema.
38	Figura 14b – Dispositivo construído em fotografia.

39	Figura 15: Foto do topo do balão de friação
40	Figura 16: Esquema do corte do fio junto à parede do limitador de balão.
41	Figura 17: Detalhe do sistema que suporta o limitador de balão e seu motor de acionamento.
42	Figura 18: Detalhe do aparelho completo.
43	Figura 19: Detalhe da montagem do espelho em ângulo de 45°
44	Figura 20: Cálculo do ângulo final do fio 100% PAC.
45	Figura 21: Cálculo do ângulo final do fio 50% PAC/CO.
50	Figura 22: Gráfico comparativo Coeficiente de atrito transversal X Velocidade fio 100% PAC
52	Figura 23: Gráfico comparativo Coeficiente de atrito transversal X Velocidade fio 50% PAC/CO.

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Valores medidos nas condições de ensaio para o fio 100% PAC.	45
Tabela 2: Valores medidos nas condições de ensaio para o fio 50% PAC/CO.	46
Tabela 3: Valores do coeficiente de atrito longitudinal.	47
Tabela 4: Valores adimensionais das condições de ensaio para o fio 100% PAC.	48
Tabela 5: Coeficiente de atrito tangencial calculado fio 100% PAC.	49
Tabela 6: Valores adimensionais das condições de ensaio para o fio 50% PAC/CO.	50
Tabela 7: Coeficiente de atrito tangencial calculado fio 50% PAC/CO.	51
Tabela 8: Propagação de erro de medida.	54

Lista de Símbolos

a	: ângulo inicial do fio;
C_D	: coeficiente de arraste aerodinâmico;
D	: diâmetro do fio;
g	: aceleração da gravidade;
m	: massa por unidade de comprimento;
N	: força normal;
P	: somatória das componentes radiais das forças externas;
p_0	: adimensional referente ao arrasto aerodinâmico;
Q	: somatória das componentes transversais das forças externas;
Re	: número de Reynolds;
R_f	: raio final do balão;
r_f	: raio final do balão adimensionalizado;
r	: coordenada r do ponto;
R_0	: raio do limitador;
t	: tempo;
t_0	: Tensão inicial do fio adimensionalizada;
T	: força de tração no fio;
T_0	: força de tração na extremidade inicial do fio;
T_i	: força de tração na extremidade inicial do fio mantida constante;
T_r	: componente r de T ;
T_θ	: componente θ de T ;
T_x	: componente x de T ;
T_y	: componente y de T ;
T_z	: componente z de T ;

V_p : Velocidade na parede do limitador de balão;
 X : força por unidade de comprimento na direção x;
 x : coordenada x do ponto;
 Y : força por unidade de comprimento na direção y;
 y : coordenada y do ponto;
 Z : força por unidade de comprimento na direção z;
 z : coordenada z do ponto;
 z_1 : coordenada z do ponto onde o fio começa a tocar o limitador;
 z_2 : coordenada z do ponto onde o fio deixa de tocar o limitador;
 Z_f : altura final do balão;
 z_f : altura final do balão adimensionalizada
 α : aceleração;
 μ : coeficiente de atrito;
 μ_t : coeficiente de atrito transversal;
 μ_l : coeficiente de atrito longitudinal;
 ν : viscosidade dinâmica;
 θ_f : ângulo final do fio;
 p : densidade específica do ar;
 τ : período;
 ω : velocidade angular;
 ω_0 : velocidade inicial angular;
 θ_f : ângulo final do fio;

1. INTRODUÇÃO

Na indústria têxtil, com o objetivo de melhorar determinadas características dos fios produzidos como a sua resistência e sua regularidade, os fios são unidos em dois ou mais cabos através do processo chamado retorcão. Os fios retorcidos apresentam-se mais regulares, pois as irregularidades eventuais são diluídas, já que dificilmente coincidem no mesmo trecho de fio. Por este motivo, e também pelo fato de a retorcão prender ainda mais as fibras dos cabos que formam o fio, estes fios são mais resistentes que os fios singelos.

1.1 Processo de Retorcão – Retorcadeira Dupla-Torcão.

O processo de retorcão é executado em um equipamento chamado retorcadeira e consiste nas seguintes operações representadas pelo diagrama de blocos abaixo (figura 1a):

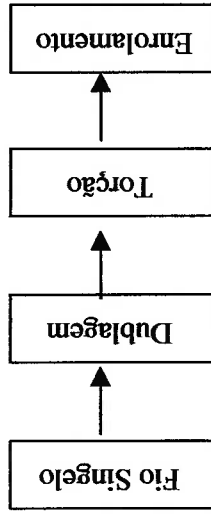


Figura 1a: Diagrama de blocos da retorcadeira

Existem dois métodos conhecidos pelo homem para torcer os fios: o concêntrico e o rotativo (figuras 1b e 1c). Em ambos os métodos, a cada volta do dispositivo, uma volta é introduzida no fio. No concêntrico, a aceleração centrípeta

do fio é menor do que no rotativo. Esta aceleração é a principal causa da tensão no fio durante o processamento. Apesar de trabalhar com tensões maiores, o método rotativo é empregado na maioria das máquinas modernas de alta velocidade por permitir formas construídas mais adequadas. Neste método, devido à rotação, o fio assume visualmente um formato característico parecido com um balão. A estabilidade deste balão depende do ajuste da rotação e tensão no fio. Mantendo-se a tensão e aumentando-se a rotação, o balão aumenta de tamanho e pode colapsar, o mesmo ocorre mantendo-se a rotação e diminuindo-se a tensão. Para conter o diâmetro e para aumentar a estabilidade do balão, costuma-se utilizar limitadores na forma de anéis ou cilindros (figuras 2a e 2b).

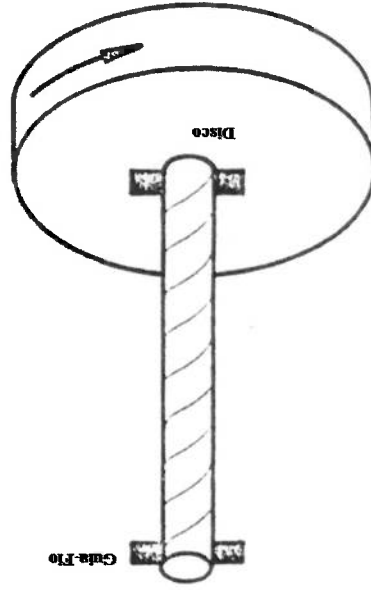


Figura 1b: Método de torção concêntrica

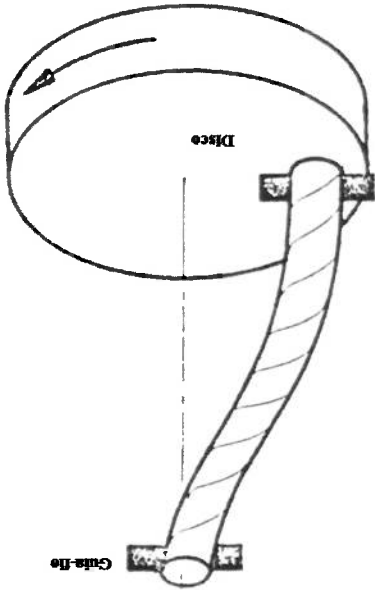


Figura 1c: Método de torção rotativo

No processo de retorcerdeiras "dois por um", os métodos de torção concêntrico e rotativo são combinados para inserir duas voltas no fio para cada volta do disco (figura 3a, 3b e 3c). Como o mecanismo para bobinar o fio já retorcido é complexo, não existe ainda hoje, retorcerdeiras de fição que consigam ter uma bobina dentro do balão. Quase todas as retorcerdeiras só alimentam os fusos pelo interior do balão. Neste caso, a bobina fica acima do fuso, como é mostrado na

figura 6.

Figura 2a: Anel para controle do balão

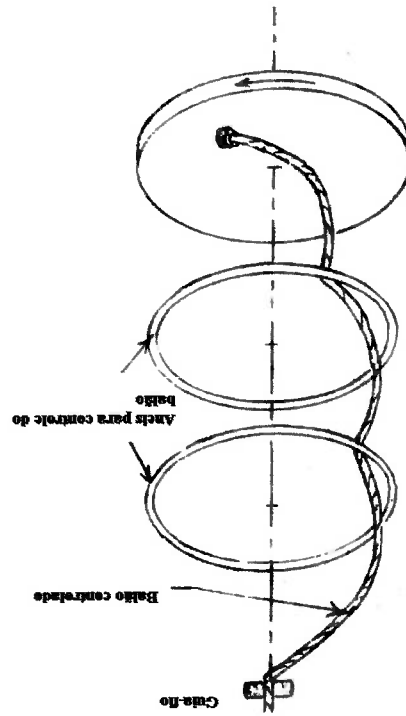
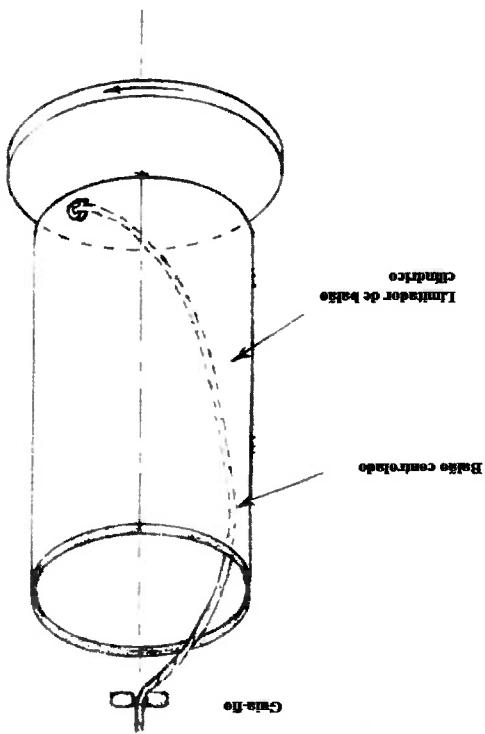


Figura 2b: Cilindro para controle do balão



As figuras 4 e 5 abaixo apresentam o esquema de um fuso moderno de retorcadeira tipo "dupla-torção". A panela protetora é mantida estacionária, sem rotação, mediante um sistema magnético. Em retorcadeiras modernas, o limitador cilíndrico é mais usado na prática.

Figuras 3a, 3b e 3c: Nas retorcadeiras dupla-torção o fio é primeiramente torcido usando-se o método rotativo (3b), depois é girado a 180° e torcido usando-se o método concêntrico (3a). Duas torções reais são inseridas em apenas uma única volta do disco.

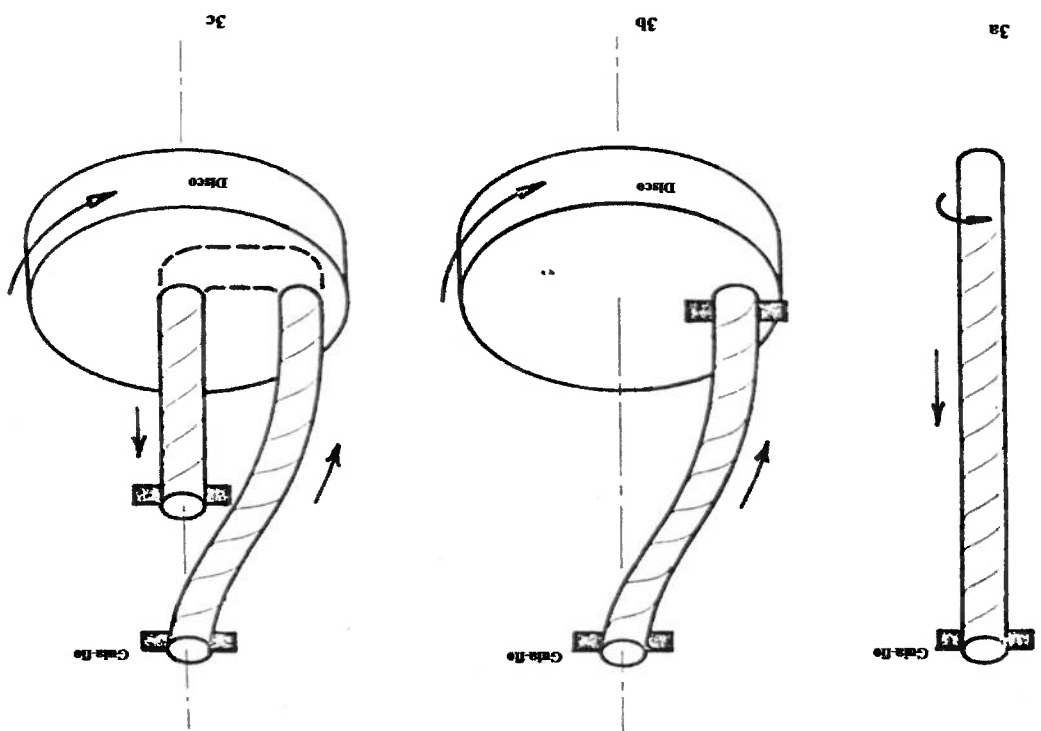
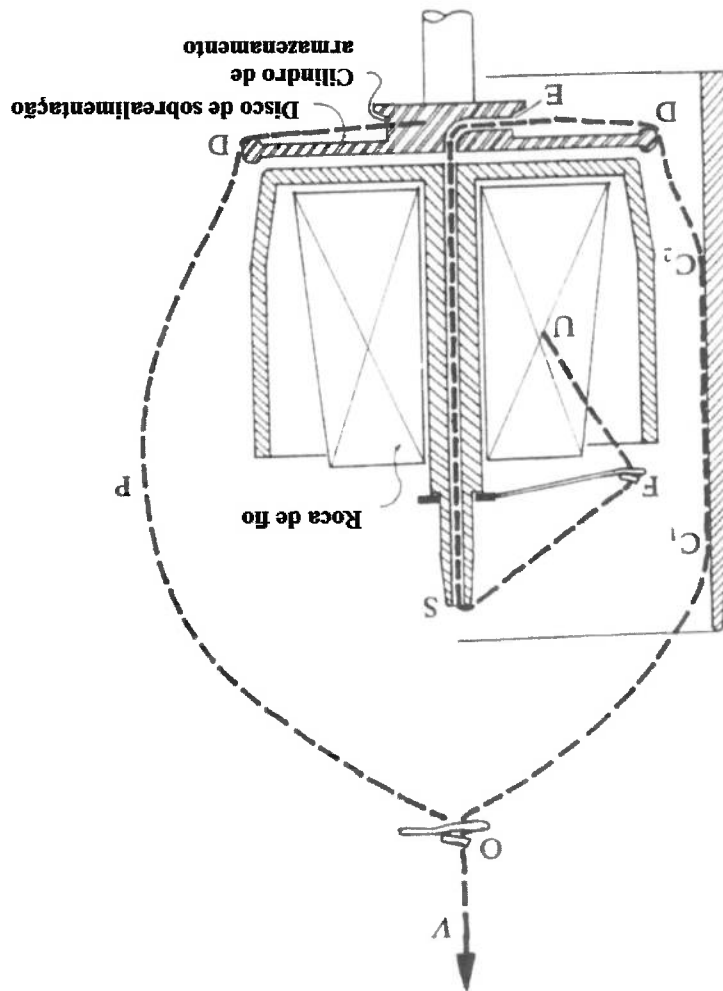


Figura 4: Esquema de um fuso de retorceteira dois por um Manual Técnico Volkman – Saurer Co.



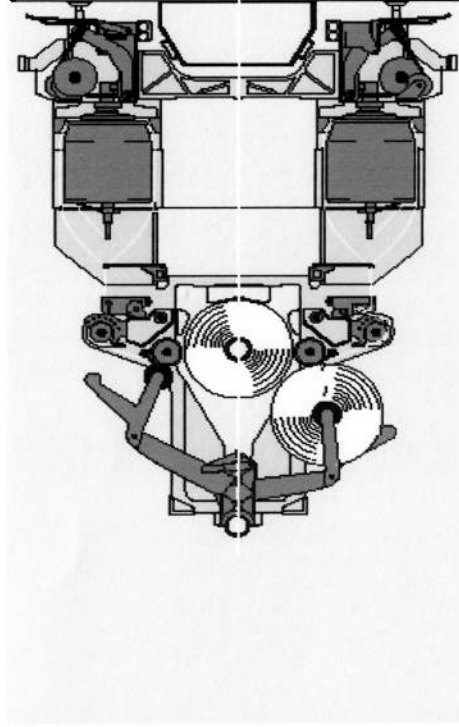


Figura 5: Esquema do fuso da retorceadeira moderna (dois por um)
Manual Técnico Volkman – Saurer Co.

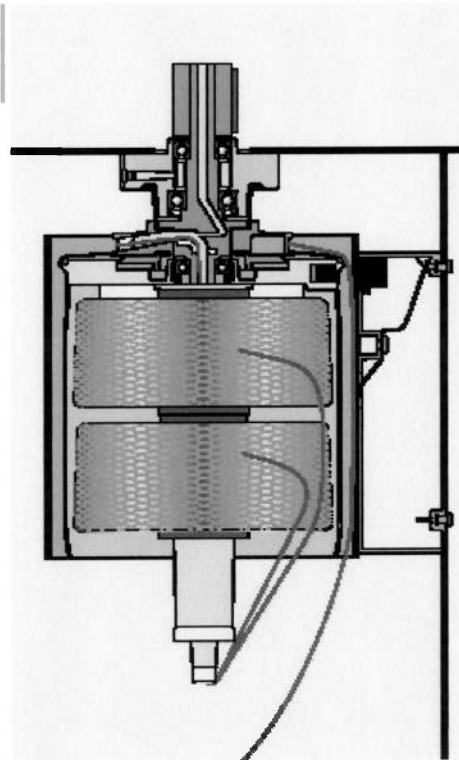


Figura 6: Esquema do enrolamento da retorceadeira moderna (dois por um)
Manual Técnico Volkman – Saurer Co.

1.2 Limitações do Processo

Um dos parâmetros limitadores de produção no processo de retorcção é o atrito gerado entre o fio e o limitador do balão, quando este existir, como é mostrado nas figuras 7 e 8. Este atrito provoca a limitação da velocidade de entrega do fio e da velocidade de rotação do fuso, fatores que influenciam diretamente na produtividade do equipamento por alterar algumas características físicas das fibras que compõem os fios.

Um dos parâmetros físicos do fio mais afetados pelo atrito é a chamada pilosidade (pilling) que é a formação de pêlos na superfície do fio devido à estimulação física do material como por fricção, onde número de pontas livres é incrementado. Este fator inclui diretamente no aspecto dos tecidos que serão produzidos, alterando parâmetros como brilho, toque e resistência ao atrito. Hoje já existem alguns tratamentos anti-pilling aplicados à tecidos compostos por fibras naturais, entretanto tratando-se de fibras sintéticas as propriedades de tenacidade, elasticidade e resistência à abrasão não permitem a retirada da pilosidade, visto que este tratamento é composto por uma reação química entre fibra e reagente químico que altera as propriedades estruturais da fibra citadas acima.

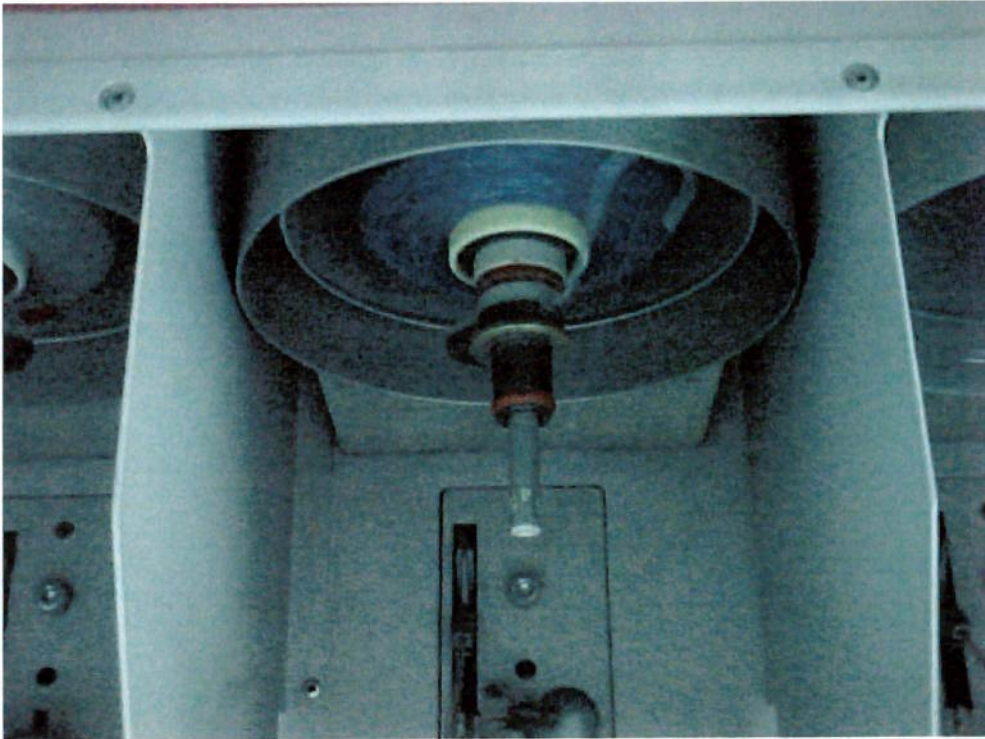
A redução do atrito gerado entre o fio e o limitador do balão nas retorcdeiras tem sido objeto de estudo, principalmente por parte de muitos fabricantes de máquinas que buscam aumentar a produtividade dos equipamentos.

atendimento.

operador deslocar-se muito mais durante o turno de trabalho limitando o tempo de possível adaptar o layout da empresa a esta necessidade de espaço, além do seja 40% maior em comprimento que uma máquina "standard". Muitas vezes não é reduzido devido a um elemento a menos para contato. Isto faz com que a máquina diâmetro do balão permitam chegarmos a uma velocidade superior pois o atrito é livremente sem tocar as paredes. As máquinas produzidas sem o limitador de polegadas de diâmetro). Neste espaço vazio, o balão formado pelo fio gira quando não existe (meiadas baseadas em painelas protetoras de fio de 5 um espaço maior entre fusos de 200 mm quando existe o limitador contra 300 mm ela aumenta consideravelmente o tamanho do equipamento, visto que é necessário.

A retirada do limitador de balão (figura 8) pode ser uma solução. Entretanto,

Figura 7: Detalhe da panela protetora do fio e panela antibalão – Retorceadeira Volkmann VTS08



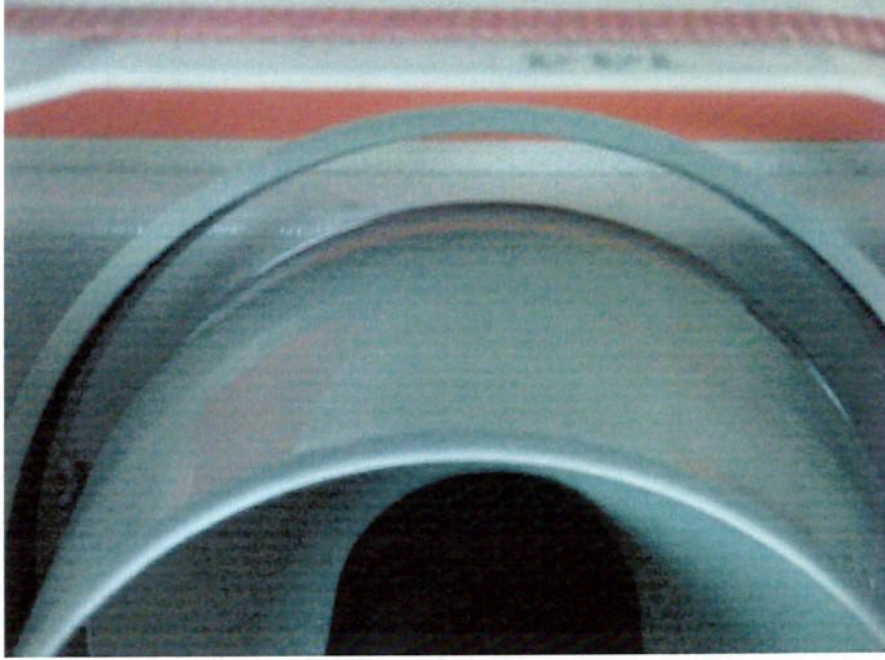
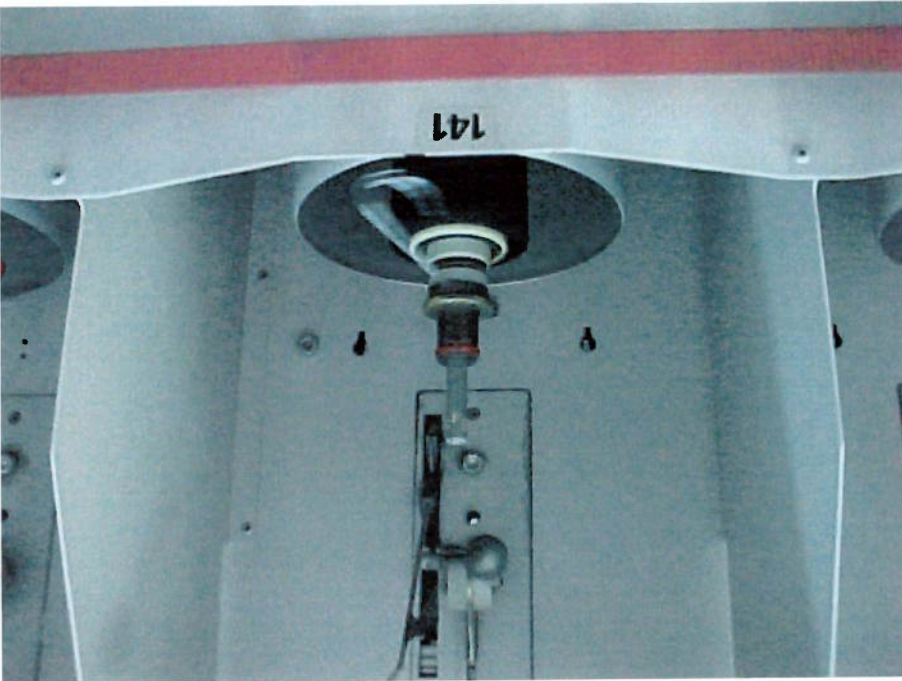


Figura 9: Detalhe anel limitador de balão - Retorcedeira Volkman VTS08

Outra questão, é que mesmo assim é necessária a colocação de um anel para limitar o formato do balão (figura 9). Como este anel é fixo, mesmo que em menor escala ainda existe atrito do fio.

Figura 8: Detalhe do fuso sem panela antibalão - Retorcedeira Volkman VTS08



Nos limitadores de balão diversas medidas foram testadas tentando reduzir o atrito do fio com o metal, entre elas a aplicação de películas como teflon e óxido de alumínio. Entretanto estas películas devido ao atrito possuem uma certa vida útil, desgastando-se e perdendo sua função.

O problema se torna ainda maior quando trabalhamos com fibras de poliéster ou acrílico, que possuem a propriedade de se fundir com o calor gerado pelo atrito. A ação corretiva adotada hoje é a aplicação de lubrificantes (encimagem) e redução de 10% da velocidade de trabalho quando comparado a velocidades trabalhadas em fibras naturais (algodão e lã, por exemplo). Isto significa perda direta de produção.

A aplicação de óleos lubrificantes sobre o material também é bastante empregada. Entretanto, para fios que serão tintos após o processo de retorcão, este procedimento gera um custo extra, pois torna necessário um banho para retirada dos óleos lubrificantes, visto que na maior parte dos casos não existe afinidade do óleo com o corante e a fibra têxtil, gerando manchas nos processos de tingimento devido à dificuldade de igualização do corante.

Um segundo fator é que o número de rupturas dos fios durante o processo de produção aumenta significativamente com o aumento da velocidade da máquina, devido ao atrito. Este aumento pode limitar a velocidade de produção pois cada ruptura do fio é um defeito que fica visível posteriormente no tecido produzido, pois há a necessidade de uma emenda manual ou automática do fio.

Um terceiro fator limitador de velocidade é que devido ao atrito do fio com o limitador de balão, a estrutura física das fibras sintéticas sofre pequenas alterações. Estas alterações provocam diferenças na afinidade tintorial da fibra fazendo com que os tecidos tingidos em peça (após o processo de retorcão) possam apresentar barramentos e manchas.

Os parâmetros de trabalho atuais apontam que para que em fios compostos de lã ou da mistura de poliéster e lã, a rotação não pode ser superior a 7000 RPM. Levando-se em conta que as máquinas atuais podem chegar facilmente a 12000 RPM, vemos que a perda de produção pode chegar a 50% da capacidade instalada.

1.3 Importância do Estudo do Atrito.

O primeiro passo para desenvolver um sistema mais versátil e eficiente de reforço seria eliminar os atritos existentes, principalmente entre o limitador de balão e o fio. Entretanto muito pouco se sabe até hoje sobre o comportamento do atrito em relação ao deslizamento transversal do fio.

Atualmente o comportamento do atrito dentro do limitador de balão, a influência da força normal presente e sua variação de acordo com a velocidade de rotação do fuso não foram estudados, visto a grande dificuldade que é projetar um sistema para medir o coeficiente de atrito transversal. Portanto, fica difícil de pressupor qual seria a melhor maneira de diminuí-lo. Sendo assim, seria fundamental entender o comportamento das variáveis que compõem esta força de atrito.

O atrito na indústria têxtil para estes casos tem sido simplificado sob a forma

de:

$$T = \mu_t \times N$$

onde, μ_t é o coeficiente de atrito transversal e N é a força normal.

É certo que a redução do atrito irá permitir que o equipamento trabalhe com rotações de fuso e consequentemente velocidades de enrolamento superiores.

Aumentar a velocidade de trabalho representa aumento de produção, possibilidade de trabalhar com um menor número de retorcadeiras (menor

investimento) e redução de mão de obra aplicada pois, existe uma redução no número de máquinas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Existem muito poucos estudos sobre o comportamento do atrito do fio em relação às partes metálicas do equipamento. Os que existem são dedicados ao estudo do coeficiente de atrito longitudinal devido a sua maior facilidade de avaliação experimental. Para uma definição do atrito longitudinal e transversal, ver figura 10. O atrito transversal encontra-se na direção bi-normal.

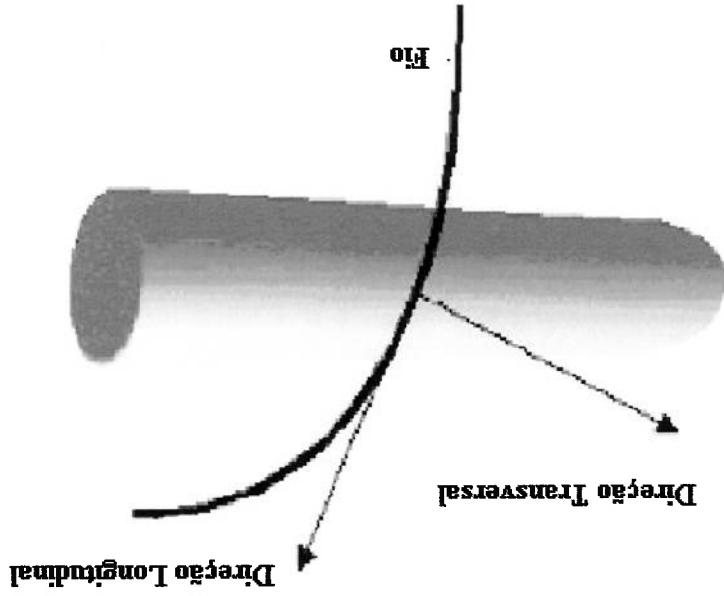


Figura 10: Direção Longitudinal e Transversal

Em 1972, Linz (1972) desenvolveu um modelo para o coeficiente de atrito levando em conta parâmetros como velocidade, tensão preliminar, ângulo de cruzamento, temperatura, umidade relativa e macro-geometria dos elementos de atrito. Até este momento o coeficiente de atrito entre o fio e os guias tinha um valor específico para qualquer combinação de materiais. Com o uso do novo modelo as

conseqüências das mudanças de um ou mais parâmetros passaram a ser estimadas antecipadamente.

Ainda em 1972, Latzke (1972) estudou os erros de medição nos medidores eletrônicos de tensão dos fios. Seu trabalho sugere que nas cabeças de medição, todos os órgãos guias sejam substituídos por elementos rolantes, o que tornaria os erros de medição desprezíveis.

O aumento das velocidades de fiação também provoca o aquecimento do fio a altas temperaturas devido ao contato com guias e placa aquecidas pelo atrito. Schick (1980) descreve em seu trabalho estudos feitos sobre a interface fibra-metal em uma larga faixa de temperatura de 30°C a 220°C com um pino de cromo aquecido, tentando simular as condições existentes na planta de produção. São descritos os efeitos da rugosidade da superfície dos guias, pré-tensão, diâmetro do guia e comportamento dos lubrificantes anti-aquecimento na dependência da temperatura por atrito. Entretanto o estudo foi baseado em fios multi-filamento sintéticos não sendo consideradas os supostos diferentes efeitos dos fios por fibras naturais.

Hanser e Tabor (1985) investigaram a importância dos fatores hidrodinâmicos no comportamento do atrito longitudinal de fios deslizando sobre superfícies cilíndricas. Através do método clássico de "capstan", largamente usado, que consiste em passar fibras ou fios sobre uma superfície cilíndrica e medir a tensão inicial T_0 e a tensão final T . Utilizando fibras e fios cobertos com uma camada de óleos lubrificantes de viscosidade conhecida tentou provar que o atrito depende exclusivamente do produto VZ (velocidade e viscosidade):

Somente em 2003 surgiu o primeiro estudo sobre o coeficiente de atrito transversal dos fios nos processos de retorção. Marciano, Tu e Rylander (2003),

através de fotos tiradas do topo de um balão do fio cilíndricamente restringido, mediram o ângulo final do fio. Este ângulo foi teoricamente correlacionado a outros parâmetros de fácil medição e ao cobigado coeficiente de atrito transversal. Porém, neste estudo, só o método foi desenvolvido; falta agora fazer as medições do atrito para poder compreender os mecanismos e os parâmetros que controlam este atrito. Outra limitação do aparelho usado é de que a força normal não pode ser variada independentemente da velocidade de deslizamento do fio na parede do limitador. Isto limita o estudo do componente aerodinâmico do atrito final.

O modelo adotado de nenhum modo estudou a natureza do coeficiente de atrito transversal μ_t e deixou algumas dúvidas a serem respondidas. O μ_t varia com o aumento da velocidade de rotação e por consequência da força centrífuga? O μ_t é uma função do arraste aerodinâmico perto da parede sólida do limitador de balão? Como o μ_t varia com os diferentes materiais ou rugosidade do limitador?

Para poder responder as perguntas do parágrafo anterior, é preciso, porém, modificar o aparelho usado por Marciano (2003) permitindo que a força normal seja modificada independentemente da velocidade tangencial.

3. OBJETIVO.

Portanto, o objetivo desta dissertação é estudar o comportamento do atrito transversal através de modificação do dispositivo criado por Marcicamo (2000). Impondo-se a rotação do cilindro limitador de balão externo, pretende-se avaliar através de fotografias tiradas do fio qual a influência da velocidade do cilindro limitador no arrasto aerodinâmico e no comportamento do coeficiente de atrito transversal.

4. MODELO DINÂMICO

As equações apresentadas a seguir foram deduzidas por Tu (1982) em sua tese de doutorado apresentada a Universidade do Texas e serão apresentadas neste trabalho de forma sucinta.

O método mais simples para deduzir as equações do balão é usar um sistema rotativo em coordenadas cilíndricas. A velocidade de rotação do sistema de coordenadas, na direção do eixo z , é feita para coincidir com ω_0 , a velocidade do fuso e do disco. Desta maneira, o balão permanecerá estacionário para um observador rodando com o sistema de coordenadas cilíndricas.

4.1 Bases Teóricas do Método

A equação em coordenadas cartesianas de equilíbrio de um fio num campo estático pode ser deduzido de acordo com o esquemático mostrado na figura 11.

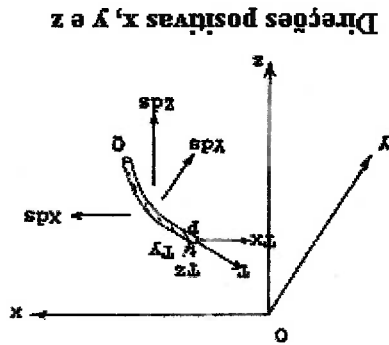


Figura 11: Forças em um pedaço de fio ds e ponto P.

Sejam T_x, T_y e T_z os componentes da tensão resultante, T , no ponto P.

Como o fio pode ser admitido como infinitamente flexível, a resultante tem a direção

do fio, essas componentes estão relacionados com T pelos co-senos diretores com $\cos \alpha_x = \frac{dx}{ds}$, $\cos \alpha_y = \frac{dy}{ds}$, $\cos \alpha_z = \frac{dz}{ds}$. Para um segmento pequeno com comprimento, Δs , usando a expansão de Taylor e desprezando os termos superiores, o componente na direção x da tensão no ponto Q será:

$$(1) \quad T_x + \frac{dT_x}{ds} \Delta s$$

Somando as forças na direção x , resulta:

$$(2) \quad T_x + \frac{dT_x}{ds} \Delta s - T_x + X \Delta s = 0 \quad \text{ou} \quad \frac{dT_x}{ds} + X = 0$$

onde X é a resultante das forças externas na direção x aplicado ao fio por unidade de comprimento. Analogamente, as equações de equilíbrio nas direções y e z podem ser deduzidas resultando no seguinte conjunto de equações:

$$(3) \quad T_x = T \frac{dx}{ds}$$

$$(4) \quad T_y = T \frac{dy}{ds}$$

$$(5) \quad T_z = T \frac{dz}{ds}$$

As equações de equilíbrio em coordenadas cilíndricas, por sua vez, podem

ser obtidas usando as relações:

$$x = r \cos \theta$$

$$y = r \sin \theta$$

$$(6) \quad \frac{dx}{ds} = \cos \theta \frac{dr}{ds} - r \sin \theta \frac{d\theta}{ds} \quad \frac{dy}{ds} = \sin \theta \frac{dr}{ds} + r \cos \theta \frac{d\theta}{ds} \quad (7)$$

As equações de movimento em coordenadas cilíndricas resultam:

$$(8) \quad \frac{d}{ds} \left(T \frac{dr}{ds} \right) - T r \frac{d^2 \theta}{ds^2} = 0$$

A velocidade de alimentação do fio é geralmente baixa e, portanto, a aceleração de Coriolis pode ser admitida desprezível. Também, usualmente o fio não é muito inclinado durante sua passagem através do balão e o arrasto aerodinâmico pode ser admitido como atuando somente na direção circumferencial. Portanto, o fio pode ser considerado como um cilindro vertical (Hannah, 1955). Para

$$(12) \quad \begin{aligned} \frac{dz}{dT_\theta} &= T_\theta \cdot \frac{dr}{T_r} - \frac{r}{T_\theta} \cdot \frac{dT_\theta}{T} \cdot \frac{dz}{T} \\ \frac{d\theta}{dT_\theta} &= \theta = \frac{1}{T_\theta} \cdot \frac{dr}{T_r} \end{aligned}$$

A equação (10) pode ser facilmente integrada uma vez para obter $dz/ds = T^z_0 / T$ onde T^z_0 é um constante. Usando-se as regras de diferenciais implícitas e rearranjando os termos, as equações acima podem ser transformadas no seguinte conjunto de equações (12) ordinárias de primeira ordem (EDOs) em z:

$$(11) \quad T_z \left\{ \left(\frac{dr}{ds} \right)_z + r \left(\frac{d\theta}{ds} \right)_z \right\} = T_z \quad \text{ou} \quad T_z^r + T_z^\theta + T_z^z = T_z^z$$

a seguinte relação é obtida:

definindo as componentes de T como T_r, T_θ, T_z , nas direções r, θ, z respectivamente e circumferencial respectivamente. Usando a condição de inextensibilidade e onde P e Q são as forças externas (por unidade de comprimento) nas direções radial

$$(10) \quad \frac{d}{ds} \left(T \frac{dz}{ds} \right) = 0$$

$$(9) \quad \frac{d}{ds} \left(T \cdot r \cdot \frac{d\theta}{ds} \right) + T \cdot \frac{dr}{ds} \cdot \frac{d\theta}{ds} + \bar{Q} = 0$$

a porção do fio que não toca o limite do cilindro (i.e. arco livre), as forças externas são as seguintes:

$$P = m\omega^2 r \quad (13) \quad \tilde{Q} = -\frac{1}{2} C_d \rho (\omega r)^2 \quad (14)$$

onde m é a massa do fio por unidade de comprimento, C_d é o coeficiente de arrasto aerodinâmico na velocidade transversal (ou ωR_0) do fio, ρ é a densidade do ar e D

é o diâmetro equivalente (De Barr e Catling, 1965).

Entre z_1 e z_2 o fio se arrasta na superfície interna do cilindro e, portanto, $r = R_0$

para esta porção (ou arco) do balão. Conseqüentemente pelas equações acima e a definição de T_r , $r = T_r = 0$, $P = T_\theta^2 / (T \cdot R_0)$, e $T_r = 0$ para este arco do balão.

Também, a força resultante na direção radial é agora $P = m\omega^2 R_0 - N_r$, onde N_r é a

componente normal da ação da parede no fio deslizando. Pela lei de Amonton, a

força de arrasto transversal resultante é agora somente $\tilde{Q} = -\mu N_r$. Na ausência de

forças impulsivas, T_r, T_θ, T_z são também contínuas no ponto onde se juntam os arcos

livres e o arco que desliza na superfície do limitador. Obtem-se dois modelos:

a) Para os dois arcos livres

$$r = \frac{T_\theta}{T} \quad (15)$$

$$\theta = \frac{T_\theta}{T} \quad (16)$$

$$T_r = \frac{T_\theta}{T} - m\omega^2 r \quad (17)$$

$$T_\theta = \frac{1}{2} C_d \rho D \omega^2 r \left(\frac{T_\theta}{T} - \frac{T_\theta}{T} \right) \quad (18)$$

Um procedimento para resolver esses "two point boundary value problems" TPBVP's é primeiro determinar z_1 e z_2 . A altura z_1 depende unicamente do arco livre superior e pode ser determinado fazendo-se uma estimativa inicial para T_r no guia fio (isto fixa T_{z_0} pois $T_{z_2} = T_{z_0} - T_r$ em $z = 0$). Então as quatro equações do arco livres superior são integradas desde $z = 0$ até $r = R_0$ usando-se um integrador

$$\text{em } z=z_f: r = R_f$$

$$\text{em } z=z_f: r, \theta, T_r, T_\theta \text{ são contínuos}$$

c) Para o arco livre inferior

(z_2 a ser determinado)

$$\text{em } z=z_f: r, \theta, T_r, T_\theta \text{ são contínuos}$$

b) Para o arco que desliza na superfície do limitador

$$\text{em } z=z_f: r = R_0, T_r = 0 \text{ (} z_1 \text{ a ser determinado)}$$

$$\text{em } z=0: r = 0, \theta = 0, T_\theta = 0, (T_r \text{ a ser determinado)}$$

a) Para o arco livre superior

As condições de contorno para os três arcos são:

$$T_\theta = \mu \left(m \omega^2 R_0 - \frac{T_\theta}{T} \right) \frac{TR_0}{T} \left(\frac{T}{T_{z_0}} \right) \quad (22)$$

$$T_r = 0 \quad (21)$$

$$\theta = \frac{R_0 T_{z_0}}{T} \quad (20)$$

$$r = 0 \quad (19)$$

b) Para o arco que desliza na superfície

numérico simples como um Runge-Kutta de 4ª ordem com passos fixos. A condição de contorno $T_r = 0$ é então verificada neste ponto z (onde $r = R_0$). Se esta condição não é satisfeita, outro valor inicial é escolhido para T_r (usando-se o esquema Newton-Raphson) e nova integração é feita. O z obtido quando esse processo converge é o z_1 desejado. Para determinar z_2 , uma estimativa inicial é também feita para este valor. Como r, θ, T_r, T_θ são contínuos em z_1 , as EDO's podem ser integradas até z_2 . Neste ponto as equações para o arco livre inferior são usadas para levar a integração até $z = z_f$. A condição de contorno em z_f , $r = R_f$ é em seguida verificada. Se não satisfeita, uma outra interação é feita estimando-se um novo valor para z_2 . Quando a convergência é alcançada, o valor de z_2 é determinado.

Embora não estritamente necessárias, as duas seguintes EDO's adicionais podem ser de muita ajuda na integração:

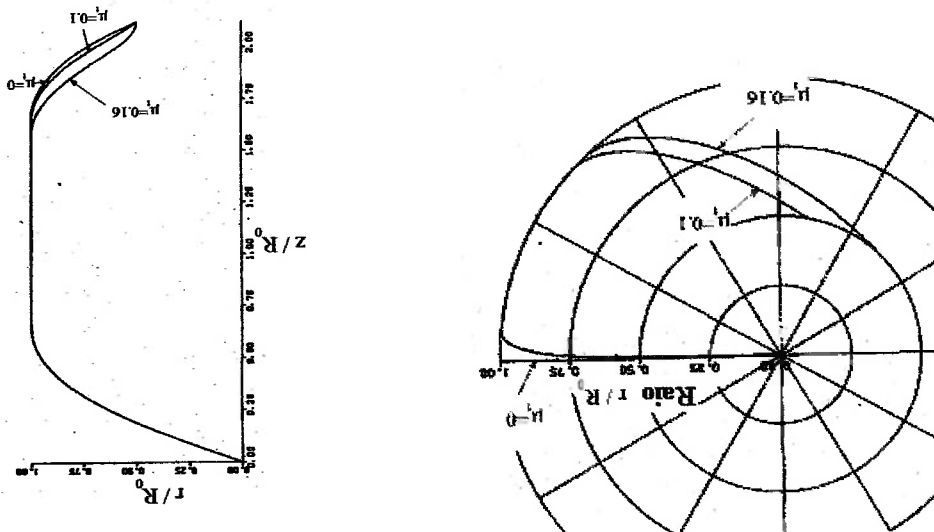
$$\frac{ds}{ds'} = \frac{T}{T_{z_0}} \quad (23) \quad \text{e} \quad \frac{dT}{dT_r} = T_r = -P \frac{T}{T_r} - Q \frac{T}{T_\theta} \quad (24)$$

As condições iniciais associadas a essas EDO's que são ($z = 0, s = 0$ e $T = T_0, s' = s$) e T contínuo em $z = z$ e $z = z_2$, são também contínuos em $z = z_1$. Essas EDO's podem ser convenientemente integradas em conjunto com as outras quatro. Quando z_1 e z_2 são encontrados, as outras variáveis podem ser calculadas. Em particular r e θ podem ser obtidas em função de z .

A figura 12a e 12b mostram um gráfico típico polar e radial dos resultados numéricos para dois valores de μ , que diferem por pouco. Pode-se observar através desses pontos, que θ é muito sensível a μ , ao passo que r não é. Medindo θ_f , portanto, μ , pode ser determinado.

Estas equações são resolvidas mediante um programa denominado CORDA codificado em linguagem FORTRAN desenvolvido por Marciano (2000). O código fonte do programa está apresentado no anexo e o fluxograma do programa está apresentado na figura 13.

Figura 12 – Forma do balão do fio para diferentes valores de μ_r . (a) Gráfico polar (b) Gráfico radial.



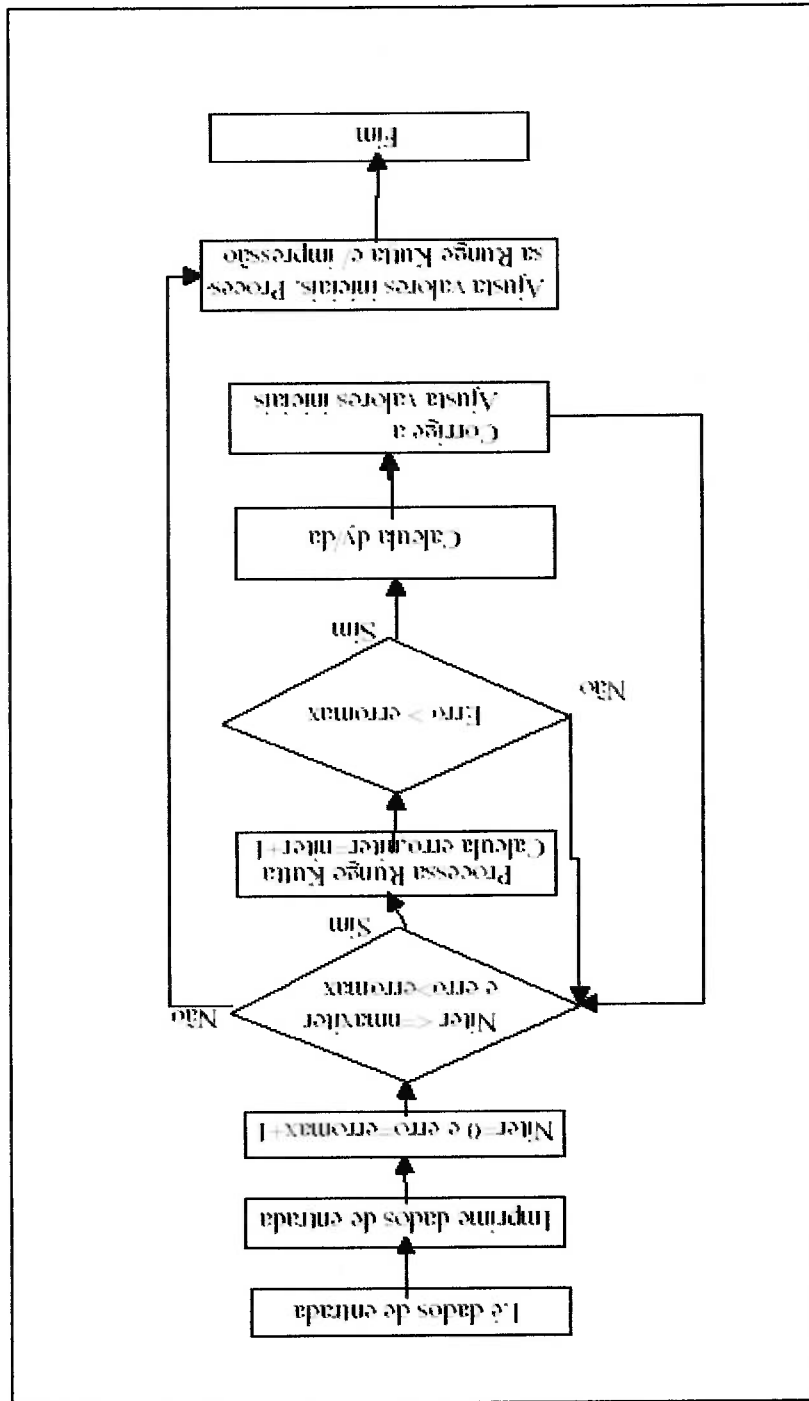


Figura 13: Diagrama de blocos do programa corda.

4.2 Escolha dos adimensionais.

Neste trabalho convém adotar valores adimensionais para algumas grandezas físicas: a altura do balão z_f , a tensão inicial do fio t_0 , o raio final r_f , o arrasto aerodinâmico por unidade de comprimento p_0 , e o número de Reynolds.

Adota-se a altura do balão adimensional como a razão:

$$z_f = Z_f / R_0 \quad (25)$$

, onde Z_f é a altura do balão em metros e R_0 é o raio do limitador em metros.

Define-se a tensão inicial adimensional do fio pela razão:

$$t_0 = T_0 / m \omega^2 R_0 \quad (26)$$

, onde m é a massa por unidade de comprimento em kg/m, T_0 é a tensão inicial do fio em Newtons, ω é a velocidade angular do disco em rad/s e R_0 é o raio do limitador em metros.

em metros.

O raio final adimensionalizado é simplesmente:

$$r_f = R_f / R_0 \quad (27)$$

, onde R_f é o raio final em metros e R_0 é o raio do limitador em metros.

O arrasto aerodinâmico adimensional é calculado por:

$$p_0 = 8 R_0 C_d \rho D / m \quad (28)$$

, onde R_0 é o raio do limitador em metros, C_d é o coeficiente de arrasto, ρ é a massa específica do ar $1,225 \text{ kg/m}^3$, D é o diâmetro do fio em metros e m é a massa por unidade de comprimento em kg/m.

Finalmente o número de Reynolds é calculado por:

$$Re = V D / \nu \quad (29)$$

, onde V é a velocidade relativa entre o fio e o limitador em m/s, D é o diâmetro do fio em metros e $\nu = \mu / \rho$ onde a viscosidade $\mu = 2 \times 10^{-5} \text{ Ns/m}^2$ (temperatura $17^\circ\text{C} \pm 0.5$).

5. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Marcicano, Tu e Rylander (2003) propuseram um método de medição do coeficiente de atrito transversal caracterizado por dois itens: um modelo teórico do sistema e um dispositivo experimental simples e confiável que permita medidas acuradas do ângulo final do balão gerado pela trajetória do fio, ver figura 15.

Foi construído um dispositivo de fusão acionado eletricamente similar ao fusão de uma retorcadeira que permite restringir o balão do fio de forma cilíndrica (figura 14a). Para que fosse possível confirmar a metodologia (e portanto o coeficiente de atrito) o cilindro é opticamente transparente. Porém, para a medição do coeficiente de atrito, em cilindros opacos, um espelho foi colocado a um ângulo de 45° em relação ao eixo de rotação (figura 14b).

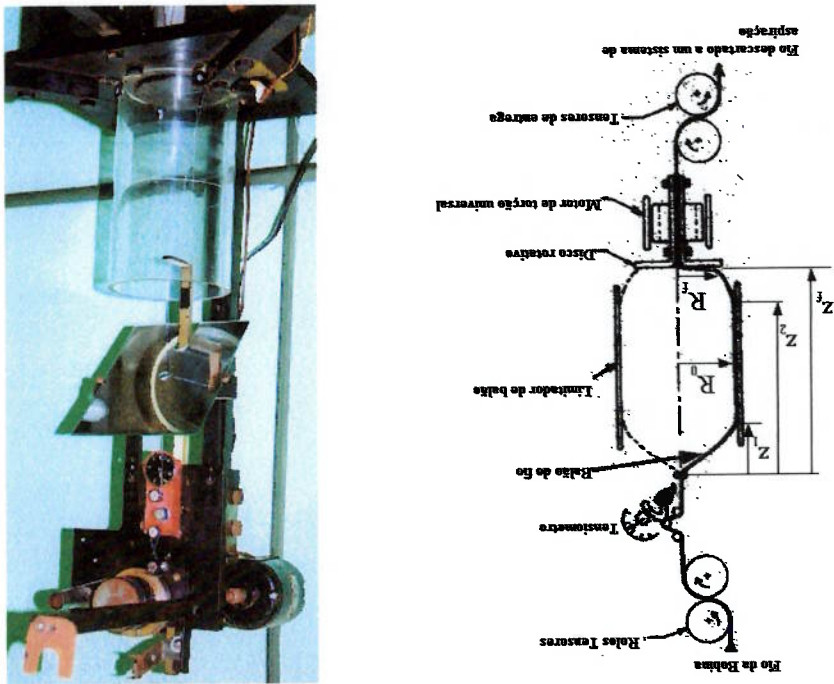


Figura 14 – Dispositivo construído, (a) esquema e (b) fotografia.

Através de fotografias tiradas do topo do balão de fiação através de um espelho a 45° foi monitorado o ângulo final do balão e portanto, medido o coeficiente de atrito transversal μ_t .

A foto abaixo (figura 15) é um exemplo de foto de topo tirada com o espelho de 45°. Defina-se ângulo final do balão, θ_f , como o ângulo entre a tangente do balão em $r = 0$ e a tangente do balão em $r = R_f$. A Tensão inicial, T_0 , foi medida usando-se um dinamômetro mecânico.

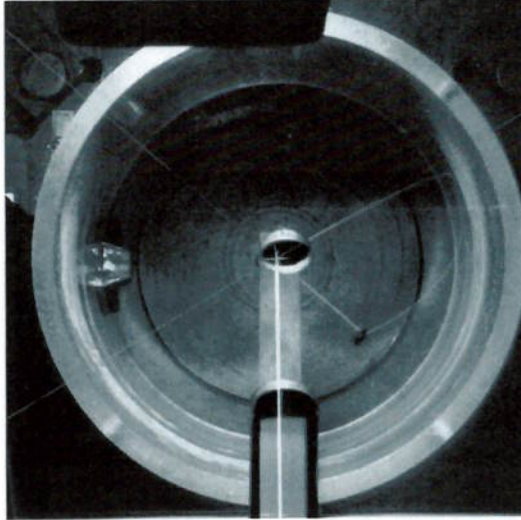


Figura 15: Foto do topo do balão de fiação

O modelo adotado de nenhum modo estudou a natureza do coeficiente de atrito transversal μ_t e deixou algumas dúvidas a serem respondidas. O μ_t varia com o aumento da velocidade de rotação e por consequência da força centrífuga? O μ_t é uma função do arraste aerodinâmico perto da parede sólida do limitador de balão? Como o μ_t varia com os diferentes materiais ou rugosidade do limitador?

Para poder responder as perguntas do parágrafo anterior, é preciso, porém, modificar o aparelho usado por Marciano, Tu e Rylander permitindo que a força

normal seja modificada independentemente da velocidade tangencial. A figura 16 mostra o esquemático de um corte seccional do fio junto com a parede do limitador de balão. Como a velocidade longitudinal do fio é pequena e aproximadamente paralela ao vetor de rotação de arrastamento, a aceleração de Coriolis é desprezível. Portanto, a única força inercial é a devido à aceleração centrípeta que força o fio contra a parede do limitador (i.e., a força normal $N_r = m\omega^2 r$). Na parede, será admitido que só existe o arraste de fricção na direção tangencial, $\vec{Q} = -\mu N_r$. Se for desejado ver se μ variar com a velocidade de arraste, $V = \omega R$, mantendo a força normal constante, é necessário varia V sem variar $N_r = m\omega^2 r$. Para isto, basta fazer com que o limitador cilíndrico possa girar com velocidade angular independentemente da velocidade do fuso.

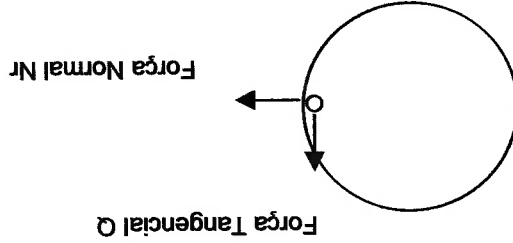


Figura 16: Esquema do corte do fio junto à parede do limitador de balão

O novo dispositivo foi, portanto, projetado com este objetivo em mente. O desenho de conjunto deste novo aparelho encontra-se no anexo desenho 1. Os desenhos de fabricação dos elementos adicionais que foram necessários para modificar o aparelho original também encontram-se em anexo. A modificação é composta por um sistema de três eixos fixados na base do dispositivo a 120° de deslocamento, cada eixo possui dois rolamentos 6205 2RS SKF e suportam o limitador de balão permitindo que ele gire acionado por um motor

de corrente contínua que esta ligado a um variador de tensão. O acionamento do motor para o limitador e executado através de um anel de borracha também chamado de "o'ring" (figura 17).

O limitador de balão é um cilindro de alumínio com duas pistas para os rolamentos ficando o cilindro suspenso a cerca de um centímetro da base do dispositivo de ensaio. A rugosidade da superfície do cilindro de alumínio foi medida utilizando-se um rugosímetro da marca Taylor Hobson modelo Surtronic 3+ em cinco diferentes pontos da peça e obteve-se uma média de $1,104 \text{ Ra}$.

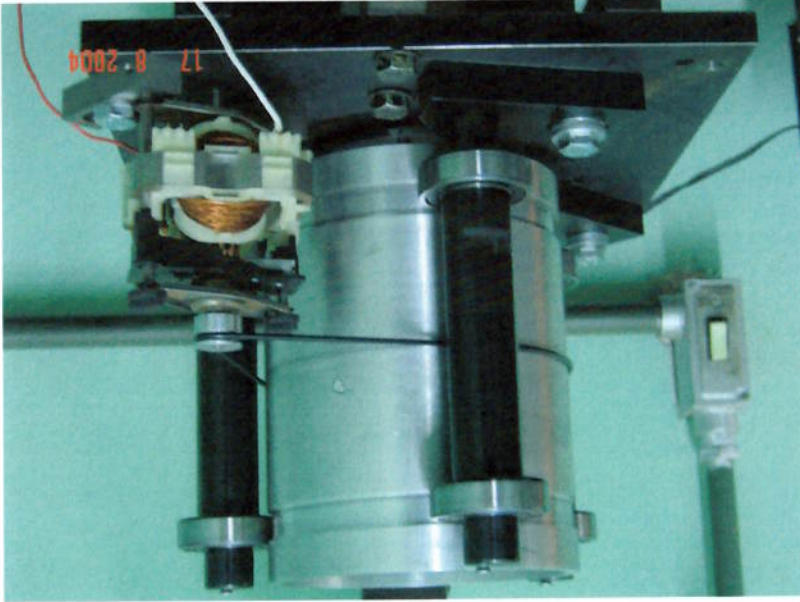


Figura 17: Detalhe do sistema que suporta o limitador de balão e seu motor de acionamento.

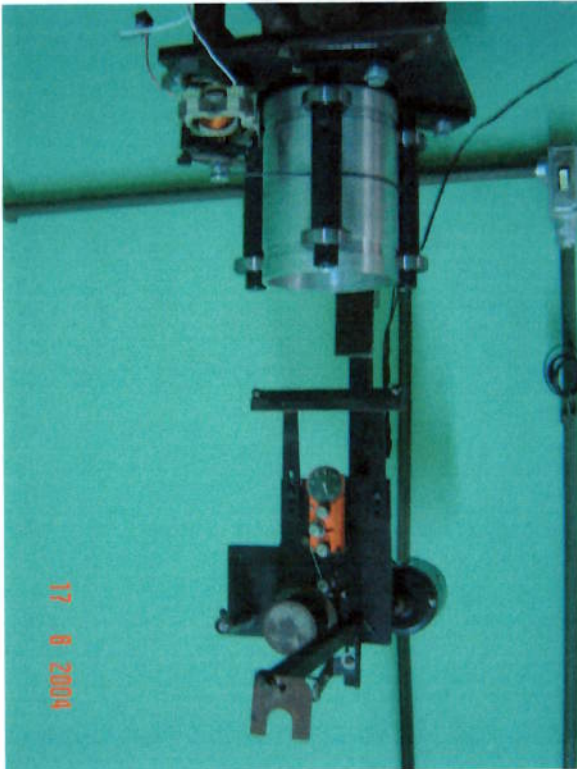
A tração do fio foi medida com o auxílio de um tensiômetro comum, a vista completa do aparelho esta mostrada na figura 18.

A velocidade do cilindro limitador de balão será variada durante o ensaio de 0 m/min até a máxima velocidade periférica do limitador de balão de 360 m/min no sentido de giro contrário ao sentido de giro do disco rotativo acionado pelo motor de torção universal e velocidade periférica máxima de 420 m/min no mesmo sentido de giro do disco rotativo. O disco rotativo atingiu até cerca de 3000 rpm. A velocidade periférica do limitador de balão foi medida com o auxílio de um tacômetro digital da marca Minipa modelo MDT 2238. A velocidade de rotação do

5.1 Procedimento de Medição

Neste trabalho foram ensaiados dois tipos de fios com as seguintes composições: 1) Fio 100% Acrílico 2/32 Nm ($6,25 \times 10^{-5}$ kg/m), doravante chamado de "100% PAC" e 2) Fio 50/50% Acrílico Algodão 2/30 Nm ($6,66 \times 10^{-5}$ kg/m), doravante chamado de "50% PAC/CO".

Figura 18: Detalhe do aparelho completo.



disco rotativo foi medida através de um sensor de velocidade ligado a um osciloscópio.

Foram tiradas fotografias do fio utilizando-se uma máquina fotográfica digital da marca Sony modelo Cyber-shot com o auxílio de um espelho colocado a 45° em relação ao eixo de rotação visando-se obter imagem do ângulo final do balão (figura 19).

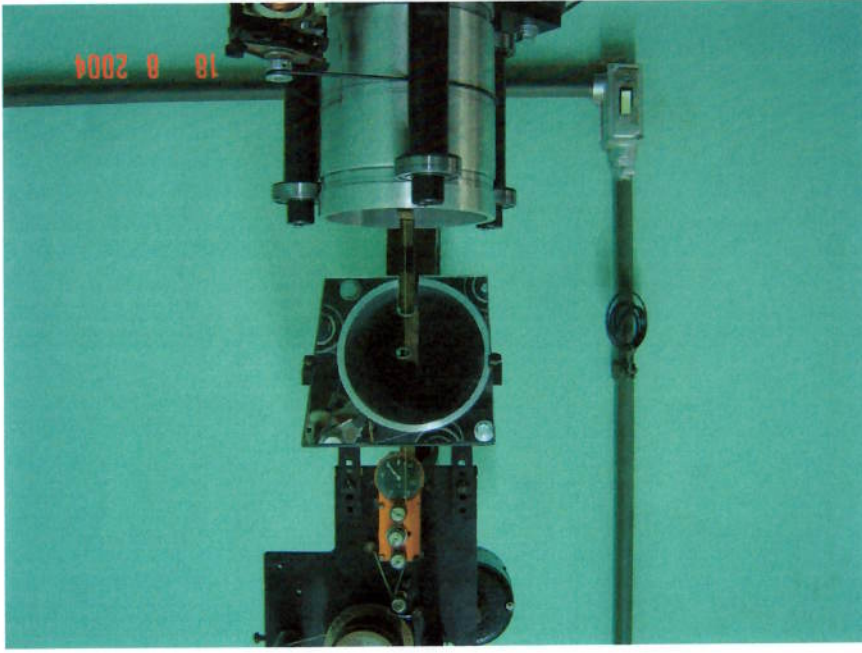


Figura 19: Detalhe da montagem do espelho em ângulo de 45°

O coeficiente de atrito transversal foi estimado de modo a obter o mesmo ângulo final medido no ensaio. Para este propósito foi utilizado o programa CORDANI desenvolvido por Marciano (2000), que utilizou os dados mensurados e um valor tentativa para o coeficiente de atrito transversal, calculou o balão correspondente obtendo o ângulo final e utilizou o método de Newton-Raphson para corrigir o coeficiente de atrito transversal.

6. RESULTADOS

Com o auxílio do programa Open Office no módulo gráfico foi obtido o ângulo final do fio no cilindro construtor do balão. As fotos abaixo (figuras 20 e 21) apresentam como o ângulo foi calculado. O ângulo final é obtido pela diferença dos ângulos da tangente do fio no início do balão e o ângulo entre a reta definida pelo ilhós e o centro do disco rotativo.

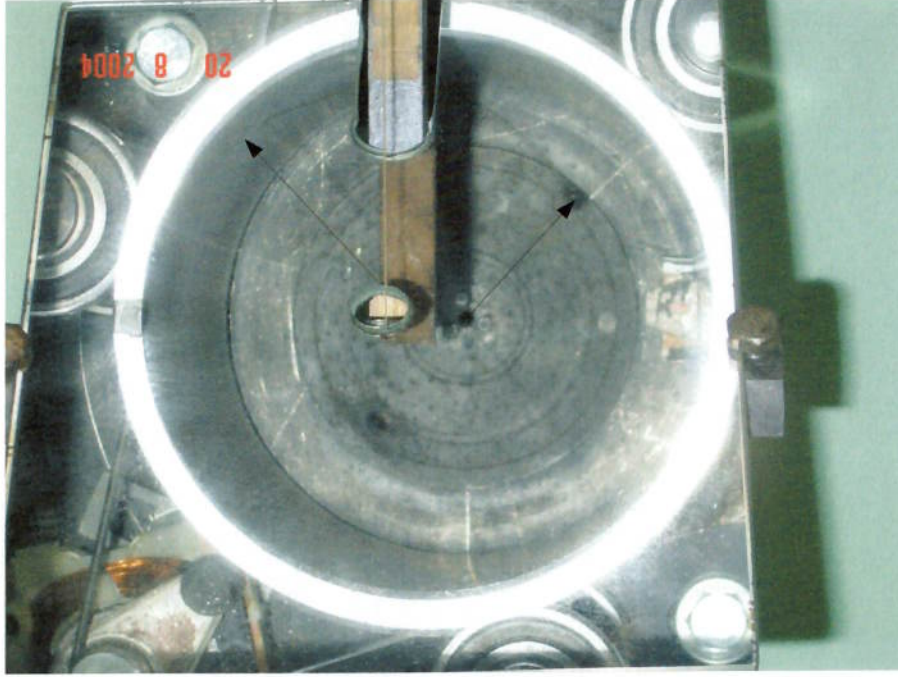


Figura 20: Cálculo do ângulo final do fio 50% PAC/CO

Ensaio	Vel. da parede (V_p) (m/min)	Período (τ) (ms)	Ângulo final (θ_f) (graus)	Tração (T_0) (g)
1	- 360	20,8	92,66	5,5
2	- 320	21	55,06	6
3	- 210	20,6	70,49	5,8
4	- 143	21	63,21	6
5	- 124	21	84,5	5
6	- 124	21	93,42	5
7	- 124	21	88,85	5

Tabela 1: Valores medidos nas condições de ensaio para o fio 100% PAC

Altura final (Z_f) = 240 mm

Raio final (R_f) = 50 mm

Raio do limitador (R_0) = 72 mm

Diâmetro do fio $D = 0,586$ mm

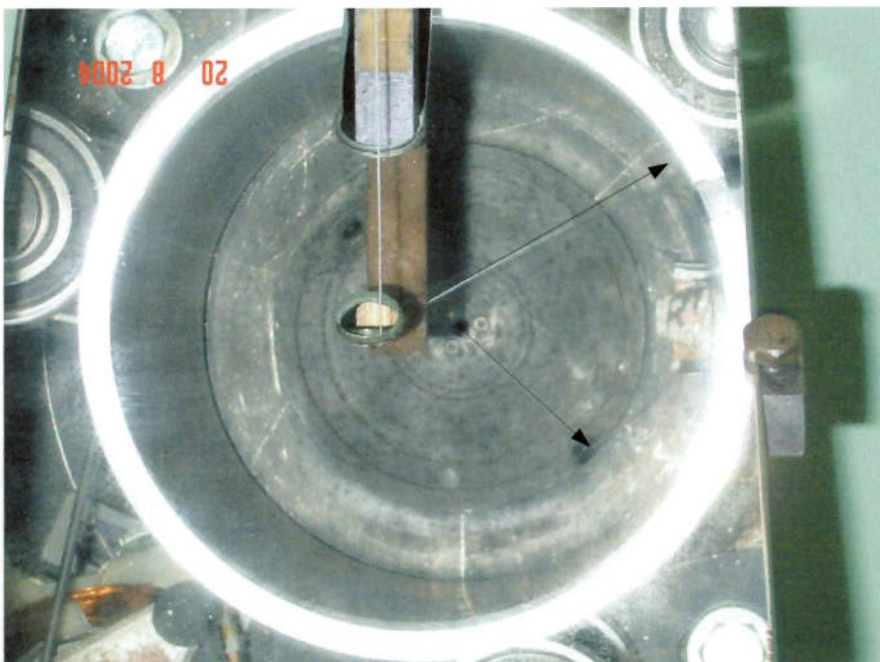
Massa por unidade de comprimento $m = 62,5$ g/km

tabela 1:

Para o fio 100% PAC os seguintes valores foram medidos e são apresentados na

6.1 Dados Experimentais.

Figura 21: Cálculo do ângulo final do fio 100% PAC.



8	0	21	101,16	5
9	0	21	86,47	5
10	0	19,6	72,6	6,2
11	0	20,4	93,2	5,1
12	0	19,6	80,0	5,8
13	76	19,8	57,2	6,0
14	77	19,8	57,0	6,0
15	77	18,6	75,0	5,6
16	98	19,4	77,5	6,2
17	100	17,4	84,6	6,8
18	100	17,4	61,9	7,4
19	100	17,4	84,8	6,6
20	128	19,6	72,3	6,0
21	128	25,3	69,6	5,8
22	131	19,2	82,8	5,9
23	168	19,2	75,0	6,0
24	232	17,4	82,3	6,2
25	232	17,4	74,4	7,0
26	376	17,4	89,9	6,7
27	376	17,4	64,2	6,7
28	376	17,4	62,4	6,5
29	410	17,6	93,5	5,3
30	420	19,4	59,7	5,5

Para o fio 50% PAC/CO os seguintes valores foram medidos e apresentados na

tabela 2:

Massa por unidade de comprimento $m = 66 \text{ g/km}$

Diâmetro do fio $D = 0,490 \text{ mm}$

Raio do limitador (R_0) = 72 mm

Raio final (R_f) = 50 mm

Altura final (Z_f) = 240 mm

Tabela 2: Valores medidos nas condições de ensaio para o fio 50% PAC/CO

Ensaio	Vel. da parede (V_p) (m/min)	Período (τ) (ms)	Ângulo final (θ_f) (graus)	Tração (T_0) (g)
1	- 210	22	78,7	5,1
2	- 210	22	73,35	5,5
3	- 203	22	68,81	5,1
4	- 203	22	94,35	4,8
5	- 178	22	71,21	5
6	- 178	22	63,18	5,2
7	- 140	22	51,56	5
8	- 140	22	76,06	5

6.2 Resultados Estimados

Determinação do coeficiente de atrito transversal entre o fio e o limitador:

Os adimensionais para os valores medidos nas condições de ensaio para o

fio 100% PAC foram calculados através das equações 25, 26, 27, 28 e 29 e são

apresentados na tabela 4:

Tabela 4: Valores adimensionais das condições de ensaio para o fio 100% PAC

Ensaio	t_0	z_f	r_f	p_0	θ_f (Rad)	Reynolds	C_d
1	1,8583	3,4583	0,6944	6,3922	-1,6172	747,0833	1
2	2,0273	3,4583	0,6944	6,3922	-1,2303	747,0833	1
3	2,0273	3,4583	0,6944	6,3922	-1,1032	747,0833	1
4	2,0273	3,4583	0,6944	6,3922	-1,4748	747,0833	1
5	1,6894	3,4583	0,6944	6,3922	-1,6305	747,0833	1
6	1,6894	3,4583	0,6944	6,3922	-1,5507	747,0833	1
7	1,6894	3,4583	0,6944	6,3922	-1,7656	747,0833	1
8	1,6894	3,4583	0,6944	6,3922	-1,5092	747,0833	1
9	1,6894	3,4583	0,6944	6,3922	-1,2675	800,4464	1
10	1,8248	3,4583	0,6944	6,3922	-1,6268	769,0563	1
11	1,6261	3,4583	0,6944	6,3922	-1,3957	800,4464	1
12	1,7071	3,4583	0,6944	6,3922	-0,9989	792,3611	1
13	1,8022	3,4583	0,6944	6,3922	-0,9952	792,3611	1
14	1,8022	3,4583	0,6944	6,3922	-1,3095	843,4811	1
15	1,4843	3,4583	0,6944	6,3922	-1,3530	808,6984	1
16	1,7878	3,4583	0,6944	6,3922	-1,4765	901,6523	1
17	1,5774	3,4583	0,6944	6,3922	-1,0805	901,6523	1
18	1,7165	3,4583	0,6944	6,3922	-1,4795	901,6523	1
19	1,5310	3,4583	0,6944	6,3922	-1,2612	800,4464	1
20	1,7660	3,4583	0,6944	6,3922	-1,2144	620,1087	1
21	2,8444	3,4583	0,6944	6,3922	-1,4450	817,1224	1
22	1,6664	3,4583	0,6944	6,3922	-1,3088	817,1224	1
23	1,6946	3,4583	0,6944	6,3922	-1,4357	901,6523	1
24	1,4382	3,4583	0,6944	6,3922	-1,2990	901,6523	1
25	1,6237	3,4583	0,6944	6,3922	-1,5687	901,6523	1
26	1,5542	3,4583	0,6944	6,3922	-1,1202	901,6523	1
27	1,5542	3,4583	0,6944	6,3922	-1,0893	901,6523	1
28	1,5078	3,4583	0,6944	6,3922	-1,6312	891,4062	1
29	1,2578	3,4583	0,6944	6,3922	-1,0425	808,6984	1
30	1,5859	3,4583	0,6944	6,3922			1

O código fonte de CORDANI é apresentado no anexo e em linguagem

estruturada a seguir:

```

Programa Cordani!
Lê Dados
Niter=0
erroθ=erromax + 1.0
Enquanto niter<nummaxiter e erroθ>erromax

```

```

CalculaBalaõ paraµi
Imprime µ.erroθ
erroθ=θcalc-θobjetivo
Se erroθ>erromax
Então

```

$$\frac{\text{erro}\theta}{\text{erro}\theta(\mu+\Delta) - \text{erro}\theta(\mu-\Delta)}$$

CalculaBalaõ para µi-Δ
CalculaBalaõ para µi+Δ

Os dados e resultados do programa Cordani! são apresentados no Anexo em

coeficiente de atrito em função do ângulo final.

Os resultados obtidos são apresentados na tabela 5:

Tabela 5: Coeficiente de atrito transversal calculado fto 100% PAC

Ensaio	Vel. da parede (Vp) (m/min)	Coef. de atrito (µt)
1	- 360	0,706
2	- 320	0,296
3	- 210	0,491
4	- 143	0,604
5	- 124	0,408
6	- 124	0,528
7	- 124	0,465
8	0	0,643
9	0	0,434
10	0	0,426
11	0	0,416
12	0	0,372
13	76	0,126
14	77	0,123
15	77	0,134
16	98	0,458

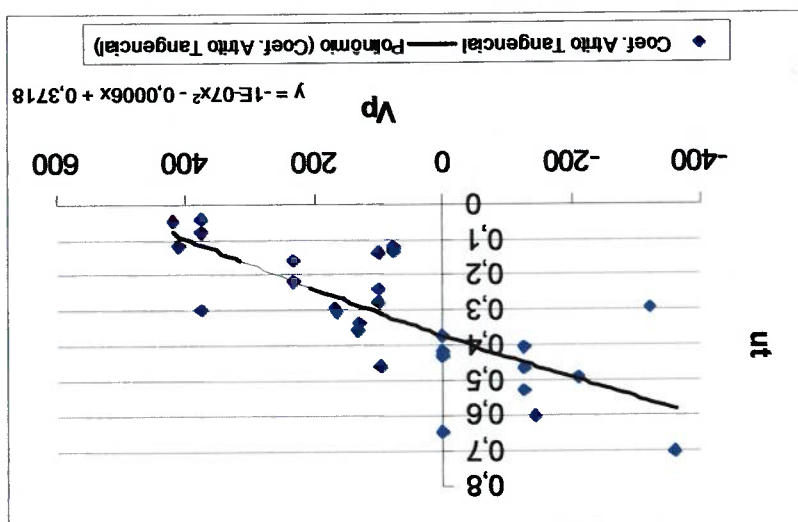
Ensaio	t ₀	z _f	r _f	p ₀	θ _f	Reynolds	C _d
--------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------	----------------

Tabela 6: Valores adimensionais das condições de ensaio para o fio 50% PAC/CO.

apresentados na tabela 6:

Os adimensionais para os valores medidos nas condições de ensaio para o fio 50% PAC/CO foram calculados através das equações 25, 26, 27, 28 e 29 e são

Figura 22 : Gráfico comparativo Coeficiente de atrito tangencial X Velocidade fio 100% PAC



velocidade em questão.

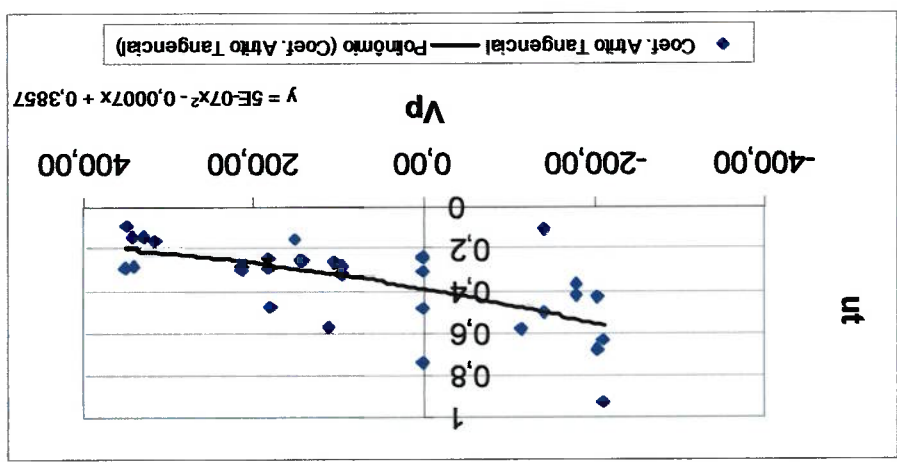
O gráfico 22 é um comparativo entre a velocidade (m/min) e o coeficiente de atrito transversal e mostra a tendência do coeficiente de atrito para a faixa de

17	100	0,279
18	100	0,14
19	100	0,24
20	128	0,334
21	131	0,356
22	164	0,306
23	168	0,291
24	232	0,158
25	232	0,221
26	376	0,301
27	376	0,08
28	376	0,044
29	410	0,119
30	420	0,049

O gráfico 23 é um comparativo entre a velocidade (m/min) e o coeficiente de atrito transversal e mostra a tendência do coeficiente de atrito para a faixa de velocidade em questão.

34		351	0,285
33		348	0,09
32		342	0,142
31		340	0,275
30		328	0,147
29		315	0,164
28		214	0,292
27		214	0,281
26		183	0,237
25		183	0,287
24		180	0,474
23		151	0,153
22		145	0,252
21		144	0,248
20		142	0,254
19		113	0,571
18		106	0,261
17		96	0,277
16		96	0,309
15		96	0,32
14		0	0,304
13		0	0,241
12		0	0,232
11		0	0,486
10		0	0,74
9		-115	0,581
8		-140	0,504
7		-140	0,106
6		-178	0,367
5		-178	0,418

Figura 23: Gráfico comparativo Coeficiente de atrito X Velocidade fio 50%PAC/CO



7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos apresentados na forma de gráficos (figura 22 e 23) demonstram que o valor do coeficiente de atrito transversal é influenciado pela velocidade da parede. O coeficiente de atrito diminui com a diminuição da velocidade relativa do fio em relação à parede. Entenda-se que a velocidade relativa é a velocidade tangencial do fio menos a velocidade tangencial da parede. Este comportamento pode ser explicado pela alteração do coeficiente de atrito pela mudança da velocidade relativa do fio ou pelo arraste aerodinâmico que é considerado no modelo utilizado para determinar o coeficiente de atrito.

Linz [LINZ,1972] demonstrou através de experimentos com fibras sintéticas que o coeficiente de atrito longitudinal aumenta significativamente com o incremento da velocidade. Nestes experimentos foi utilizado o método conhecido como "capstan" para determinar o atrito.

O arraste aerodinâmico do fio na região em que ele fica em contato com a parede é desprezado em diversos trabalhos que modelam o balão restrito (FRASER, 1993 a b; TU,1982) por se acreditar que a força de atrito é mais significativa que a força de arrasto. No livro de Zdravkovich [Zdravkovich,2003] é apresentada uma compilação de valores de coeficiente de arrasto e de sustentação para escoamento em torno de um cilindro encostado na parede. Para número de Reynolds da ordem de 20000, o coeficiente de arrasto é da ordem de 0,8 e o de sustentação 0,6. Considerando o coeficiente de arrasto com esta ordem de grandeza, a relação entre a força de atrito e força de arrasto vale aproximadamente 1,0, adotando um valor do coeficiente de atrito 0,5 e utilizando-se os valores de massa, diâmetro e raio do limitador deste trabalho.

Parâmetro	Coef. de atrito (μ_t)	Variação %
D Original	0,571	-
D +2%	0,553	-3,15
D -2%	0,590	+3,32

Tabela 8: Propagação de erro de medida

Levando-se em conta a ausência de modelo de arrasto aerodinâmico é de se esperar que os valores do coeficiente de atrito calculados estejam superestimados porque a parcela do arrasto aerodinâmico é vista através de um aumento do valor do coeficiente de atrito. E pela velocidade do fio da ordem de mil metros por minuto esperam-se valores do coeficiente de atrito maiores que os medidos nas condições em que a norma ASTM D3108-89 recomenda, até 300 m/min. Os coeficientes de atrito transversal calculados variaram de 0,5 a 0,1 para o fio 100%PAC e de 0,6 a 0,2 para o fio 50%PAC/CO. Os valores do coeficiente de atrito longitudinal estimados por Borelli em um ensaio executado de acordo com a norma ASTM D3108-89 para estes dois fios valem aproximadamente 0,25. Os valores menores podem estar relacionados a dois fatores, 1) à influência da parede na velocidade do ar no interior do cilindro que influencia o arrasto do fio quando ele não está em contato com a parede ou 2) na natureza do atrito que, nos fios têxteis, pode ser influenciado pela direção do movimento com relação à orientação das fibras.

Resta avaliar como se propaga o erro de medida até o coeficiente de atrito transversal. Para tanto impõe-se uma perturbação positiva e outra negativa de 2% em cada um dos seguintes parâmetros: 1) diâmetro do fio D, 2) ângulo final θ_f , 3) tensão do fio T_0 e, 4) velocidade angular do disco ω . A perturbação resultante no coeficiente de atrito transversal encontra-se na tabela 8. Os valores não perturbados dos parâmetros de diâmetro do fio, ângulo final, tensão do fio e velocidade angular do disco encontram-se também na tabela 8.

A tabela 8 permite estimar a incerteza do coeficiente de atrito transversal levando em conta que a precisão no diâmetro do fio é da ordem de 2%, a precisão da estimativa do ângulo final é da ordem de 4%, a precisão na tensão do fio é da ordem de 4% e a precisão da velocidade angular do disco é de 0,5%. Deve-se observar que esta tabela tem valor apenas indicativo porque o sistema tem caráter não-linear.

θ_f Original	0,571	-
$\theta_f + 2\%$	0,598	+4,72
$\theta_f - 2\%$	0,545	-4,55
T_0 Original	0,571	-
$T_0 + 2\%$	0,643	+12,6
$T_0 - 2\%$	0,511	-8,94
ω Original	0,571	-
$\omega + 2\%$	0,730	+27,84
$\omega - 2\%$	0,459	-19,61

8. COMENTÁRIOS FINAIS

Verifica-se que para uma pequena variação da velocidade relativa o valor do coeficiente de atrito transversal muda de forma significativa demonstrando a necessidade de estimá-lo uma vez que a velocidade relativa longitudinal normalmente é distinta da velocidade relativa tangencial e que ambos, coeficiente de atrito longitudinal e coeficiente de atrito transversal são fortemente influenciados pela velocidade relativa. O estudo realizado pode contribuir para um melhor entendimento do que ocorre na região em que o fio está em contato com a parede já que uma estimativa mais precisa do atrito é importante para estimar o dano provocado nos fios processados.

A parede móvel que foi adaptada ao dispositivo desenvolvido Tu (TU, 1982) permitiu um melhor entendimento do comportamento do fio na região em ele fica em contato com a parede e uma estimativa do coeficiente de atrito transversal, ainda não reportada por outros pesquisadores.

Será necessário desenvolver um dispositivo que possa proporcionar uma rotação do cilindro limitador próxima ou igual à velocidade de rotação do disco rotativo. Com o dispositivo construído foi possível apenas chegar até cerca de 30% da velocidade do disco. Caso a rotação do disco for muito baixa não haverá formação do balão.

O controle da tensão do fio deve ser feito por um dispositivo com melhor precisão. O modelo atual utilizou dois motores variáveis que se mostraram um pouco ineficientes para velocidades da parede do limitador de balão maiores do que 100 m/min. Um controle de tensão por discos tensionados por uma mola (similar ao

modelo utilizado na indústria têxtil) também foi testado e não apresentou bons

resultados.

O diâmetro do fio é um parâmetro que tem extrema influência na estimação do coeficiente de atrito, deve-se então dar preferência a fios produzidos em filamento contínuo pois estes são muito mais regulares do que fios fiados. Para os fios fiados recomenda-se que sejam tomadas várias medidas do diâmetro buscando um erro inferior a $\pm 2\%$ na média do diâmetro.

Para aprimorar o modelo para estimação do coeficiente de atrito recomenda-se medir a velocidade do ar no interior do limitador ou usar a geometria do balão na parte livre para estimar o efeito do fluxo de ar induzido pela rotação da parede. Finalmente, a influência do arrasto aerodinâmico na região de contato do fio com a parede deveria ser incluída no modelo utilizado para a estimação do coeficiente de atrito.

REFERÊNCIAS

- MARCIGANO, J.P.P., 2000 *Formato e Estabilidade do Balão Têxtil no Processo de Torção "Dois por Um" Descendente*. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- SCHICK, M. J., 1980. *Friction and Lubrication of Synthetic Fibers*. : Textile Research Journal pg 675-678.
- LINZ, H., 1972. *The Problem of Interplay between Yarn na Yarn Guide Elements on High Speed Textile Machines*. Melland Textilberichte Journal (English Edition) pg 481-485.
- LATZKE, P. M., 1972. *Friction Measurement Errors in Yarn Guide Systems Of Electronic Yarn Tension Meters*. Melland Textilberichte Journal (English Edition) pg 960-963.
- HANSEN, W. W.; TABOR, D., 1985. *Hydrodynamic Factors in the Friction of Fibers and Yarns*. Textile Research Journal pg 300-308.
- DE BARR, A.E. and CATLING, H., 1965 *The Principles and Theory of Ring Spinning*. Manual of Cotton Spinning, V. The Textile Institute and Butterworths, Manchester, UK.
- HANNAH, M., 1955, *Applications of a Theory of Spinning Balloon, I and II*, J. Textile Inst., 43, T519 and 46, T1.
- TU, C.C., 1982. *Shape and Stability of the Cylindrically Constrained Yarn Balloon*, Doctoral Dissertation, University of Texas, Austin, TX, USA .
- FRASER, W.B., 1993a. *On the dynamics of the two-for one twister*. Proc.Royal Soc. London, A447, p. 409-425, 1993.

FRASER, W.B., 1993b. **Air Drag and Friction in the Two-for-One Twister**: Results from the Theory, *J.Text.Inst.*, 84, no 3, 1993.

BORELLI, C. 2004. **Estudo do Atrito entre o Fio Têxtil e Limitadores em Retorcadeiras**. Relatório parcial de programa de mestrado, Comunicação Interna. Departamento de Engenharia Mecânica – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

ZDRAVKOVICH, M.M. **Flow Around Circular Cylinders**. Oxford University Press, v2, pp 871-884.

Anexo 1

A rotina calcula os valores das integrais y_i no intervalo de x_0 até x_f , considerando as condições de contorno iniciais dadas por x_0 , y_0 e o conjunto de equações diferenciais $dy/dx = f(x, y_1, y_2, \dots, y_n)$. O método numérico utilizado é o método de Runge-Kutta de quarta ordem.

5.1 Corda

```

SUBROUTINE RANGEKUTA(H,N,X0,Y0,X,Y,NPAR,PAR,INTER,XF)
DOUBLE PRECISION H,X0,Y0(N),X,Y(N),PAR(NPAR),
+INTER,XULTIMP,AUX1,AUX2,AUX3,K(100,4),XF,MA,MD,HRES
INTEGER I,N,NPAR,J,IND,IND1
DO 80 I=1,N,1
DO 90 J=1,4,1
K(I,J)=0
90 CONTINUE
80 CONTINUE
HRES=H
XULTIMP=X0-2*INTER
IND=0
IND1=0
100 IF (X0-XULTIMP.GE.INTER.AND.INTER.NE.0.0) THEN
MD=1
IF (X0.GT.PAR(4).AND.X0.LT.PAR(5)) THEN
MA=0
ELSE
MA=1
MD=0
ENDIF
WRITE(12,*) X0,Y0(1),Y0(2),Y0(3),Y0(4)
XULTIMP=X0
ENDIF
IF ((X0.GT.PAR(5)-0.1.AND.X0.LT.PAR(5)+0.1).OR.
+ (X0.GT.PAR(4)-0.1.AND.X0.LT.PAR(4)+0.1)) THEN
H=HRES
ELSE
H=HRES*10
ENDIF
IF (IND.EQ.0.AND.X0.GE.PAR(4)) THEN
PAR(14)=Y0(3)
IND=1
ENDIF
IF (IND1.EQ.0.AND.X0.GE.PAR(5)) THEN
PAR(15)=Y0(3)
IND1=1
ENDIF
IF (X0.GT.PAR(4).AND.X0.LT.PAR(5)) THEN
K(1,1)=1/SQRT(1-Y0(5)**2-(Y0(6)*Y0(2))**2)
K(1,2)=K(1,1)
K(1,3)=K(1,1)
K(1,4)=K(1,1)
K(2,1)=0
K(2,2)=K(2,1)
K(2,3)=K(2,1)
K(2,4)=K(2,1)
K(3,1)=Y0(6)*K(1,1)
K(3,2)=K(3,1)
K(1,1)=1/SQRT(1-Y0(5)**2-(Y0(6)*Y0(2))**2)

```

```

K(3,3)=K(3,1)
K(3,4)=K(3,1)
AUX1=Y0(6)
K(6,1)=K(1,1)*(PAR(9)*(PAR(1)*AUX1-1)**2-PAR(9)*Y0(4)*AUX1**2
-PAR(3)*AUX1*K(1,1))/(PAR(1)*Y0(4))*(1+Y0(2)*AUX1*K(1,1))
+
AUX1=Y0(6)+H*K(6,2)/2
K(6,3)=K(1,1)*(PAR(9)*(PAR(1)*AUX1-1)**2-PAR(9)*Y0(4)*AUX1**2
-PAR(3)*AUX1*K(1,1))/(PAR(1)*Y0(4))*(1+Y0(2)*AUX1*K(1,1))
+
AUX1=Y0(6)+H*K(6,2)/2
K(6,3)=K(1,1)*(PAR(9)*(PAR(1)*AUX1-1)**2-PAR(9)*Y0(4)*AUX1**2
-PAR(3)*AUX1*K(1,1))/(PAR(1)*Y0(4))*(1+Y0(2)*AUX1*K(1,1))
+
AUX1=Y0(6)+H*K(6,3)
K(6,4)=K(1,1)*(PAR(9)*(PAR(1)*AUX1-1)**2-PAR(9)*Y0(4)*AUX1**2
-PAR(3)*AUX1*K(1,1))/(PAR(1)*Y0(4))*(1+Y0(2)*AUX1*K(1,1))
+
K(4,1)=-K(1,1)**2*(PAR(1)*Y0(4)+H*K(4,1)/2)*K(6,1)
+
K(4,2)=-K(1,1)**2*(PAR(1)*Y0(4)+H*K(4,1)/2)*K(6,1)
+
K(4,3)
+
K(4,4)=-K(1,1)**2*(PAR(1)*Y0(4)+H*K(4,1)/2)*K(6,1)
+
K(4,4)=-K(1,1)**2*(PAR(1)*Y0(4)+H*K(4,1)/2)*K(6,1)
+
K(4,4)=-K(1,1)**2*(PAR(1)*Y0(4)+H*K(4,1)/2)*K(6,1)
+
K(5,1)=0
K(5,2)=0
K(5,3)=0
K(5,4)=0
IF (INTER.NE.0.0) THEN
K(7,1)=-K(1,1)*Y0(2)**2/2+PAR(3)*X0
K(7,2)=-K(1,1)*Y0(2)**2/2+PAR(3)*X0+H/2
K(7,3)=-K(1,1)*Y0(2)**2/2+PAR(3)*X0+H/2
K(7,4)=-K(1,1)*Y0(2)**2/2+PAR(3)*X0+H
K(8,1)=-K(1,1)*Y0(2)*PAR(1)*Y0(6)
K(8,2)=K(8,1)
K(8,3)=K(8,1)
K(8,4)=K(8,1)
K(9,1)=K(1,1)*PAR(9)*Y0(2)**2*(PAR(1)*Y0(6)-1)**2-
Y0(4)*Y0(6)**2*(Y0(3)+Y0(1)*Y0(6))
K(9,2)=K(9,1)
K(9,3)=K(9,1)
K(9,4)=K(9,1)
K(10,1)=0
K(10,2)=K(10,1)
K(10,3)=K(10,1)
K(10,4)=K(10,1)
END IF
ELSE
IF ((1-Y0(5))*2-Y0(2)**2).LE.0.0) then
write(*,*) 'raiz menor que zero em x=',x0,y0(5),y0(2),y0(6)
end if
K(1,1)=1/SQRT(1-Y0(5)**2-Y0(2)**2)*Y0(2)**2
K(1,2)=K(1,1)
K(1,3)=K(1,1)
K(1,4)=K(1,1)
K(2,1)=Y0(5)*K(1,1)
K(2,2)=K(2,1)
K(2,3)=K(2,1)
K(2,4)=K(2,1)
K(3,1)=Y0(6)*K(1,1)

```

```

K(3,2)=K(3,1)
K(3,3)=K(3,1)
K(3,4)=K(3,1)
K(4,1)=-Y0(2)*K(2,1)-PAR(2)*(Y0(2)**3)*K(3,1)/16-PAR(3)
K(4,2)=K(4,1)
K(4,3)=K(4,1)
K(4,4)=K(4,1)
AUX1=PAR(1)**2-Y0(4)
AUX2=K(1,1)*(Y0(2)*AUX1*Y0(6)**2-2*Y0(2)*PAR(1)*Y0(6)+Y0(2))
K(5,1)=(AUX2+K(4,1)*Y0(5))/AUX1
K(5,2)=(AUX2+K(4,1)*(Y0(5)+H*K(5,1)/2))/AUX1
K(5,3)=(AUX2+K(4,1)*(Y0(5)+H*K(5,2)/2))/AUX1
K(5,4)=(AUX2+K(4,1)*(Y0(5)+H*K(5,3)))/AUX1
ELSE
K(6,1)=0
K(6,2)=0
K(6,3)=0
K(6,4)=0
END IF
IF (INTER.NE.0.0) THEN
K(7,1)=-K(1,1)*(Y0(2)**2/2+PAR(3)*X0)
K(7,2)=-K(1,1)*(Y0(2)**2/2+PAR(3)*(X0+H/2))
K(7,3)=-K(1,1)*(Y0(2)**2/2+PAR(3)*(X0+H/2))
K(7,4)=-K(1,1)*(Y0(2)**2/2+PAR(3)*(X0+H))
K(8,1)=-K(1,1)*(Y0(2)**2*PAR(1)*Y0(6)-2*PAR(1)*Y0(2))*
+
Y0(5)*Y0(3)
K(8,2)=K(8,1)
K(8,3)=K(8,1)
K(8,4)=K(8,1)
K(9,1)=0
K(9,2)=K(9,1)
K(9,3)=K(9,1)
K(9,4)=K(9,1)
K(10,1)=K(1,1)*PAR(2)*Y0(2)**3/16*(Y0(3)+Y0(6)*Y0(1))
K(10,2)=K(10,1)
K(10,3)=K(10,1)
K(10,4)=K(10,1)
END IF
END IF
DO 200 I=1,N,1
Y(I)=Y0(I)+H*(K(I,1)+2*K(I,2)+2*K(I,3)+K(I,4))/6
X=X0+H
XO=X
DO 300 I=1,N,1
X0(I)=Y(I)
300 CONTINUE
IF (X.LT.XF) GO TO 100
H=HRES
RETURN
END

```



```

SUBROUTINE VALINICIAIS(Y0,Y1,PAR,X0,X01,N,NPAR)
  DOUBLE PRECISION Y0(100),Y1(100),PAR(100),X0,X01
  INTEGER N,NPAR,I,IITERMAX,IITER
  DO 100 I=1,N,1
    Y0(I)=Y1(I)
  100 CONTINUE
  X0=X01
  RETURN
END
SUBROUTINE LEADADOS(H,ERROMAX,IITERMAX,DELTA,INTER,X01,Y1,PAR,N,
+ NPAR)
  INTEGER N,NPAR,I,IITERMAX
  DOUBLE PRECISION H,ERROMAX,DELTA,INTER,X01,Y1(100),
+ PAR(100)
  OPEN (UNIT=10,FILE='I_NI.TXT',STATUS='OLD')
  OPEN (UNIT=11,FILE='O_NI.TXT',STATUS='UNKNOWN')
  READ(10,*) N
  READ(10,*) X01
  DO 100 I=1,N,1
    READ(10,*) Y1(I)
  100 CONTINUE
  READ(10,*) H,ERROMAX,IITERMAX,DELTA,INTER
  WRITE(11,*) H
  WRITE(11,*) ERROMAX=ERROMAX
  WRITE(11,*) IITERMAX=IITERMAX
  WRITE(11,*) DELTA=DELTA
  WRITE(11,*) PASSO DE IMPRESSAO DA SOLUCAO='INTER
  VALORES INICIAIS N = ',N
  DO 300 I=1,N,1
    WRITE(11,*) Y1(I)
  300 CONTINUE
  WRITE(11,*) 'PARAMETROS NPAR=',NPAR
  DO 400 I=1,NPAR,1
    WRITE(11,*) PAR(I)
  400 CONTINUE
  RETURN
END
SUBROUTINE CONTROLA(H,ERROMAX,IITERMAX,DELTA,INTER,X01,Y1,PAR,N,
+ NPAR,Y,erroz1,erroz2,thetal)
  INTEGER N,NPAR,I,IITERMAX,IITER
  DOUBLE PRECISION X0,X,Y0(100),Y(100),H,PAR(100),Y1(100),X01,
+ DELTA,INTER,ZERO,C1,C2,DC1DA,DC2DA,DC1DT,ERROMAX,
+ DC2DT,DA,DT,YR(100),XOR,AUX,erroz1,erroz2,thetal
  ZERO=0.0D0
  IITER=0
  ERRO=ERROMAX+1.0D0
  IF (IITER.LT.IITERMAX.AND.ERRO.GT.ERROMAX) THEN
    IITER=NITER+1
  CALL VALINICIAIS(Y0,Y1,PAR,X0,X01,N,NPAR)
  CALL RANGEKUTA(H,N,X0,Y0,X,Y,NPAR,PAR,ZERO,PAR(4))
  C1=Y(2)-PAR(8)
  C2=Y(5)-0

```

```

IF (ABS (C1).GT.ABS (C2)) THEN
  ERRO=ABS (C1)
ELSE
  ERRO=ABS (C2)
END IF
WRITE (*,'*', 'ITERAÇÃO 0-Z1', NITER, ' ERRO=', ERRO, ' erro', r(z1)='y(2)', ' z1=', par(4), '
dr/ds=', yI(5))
IF (ERRO.GT.ERRORMAX) THEN
  CALL VALINICIAIS (Y0, Y1, PAR, X0, X0I, N, NPAR)
  Y0(5) = Y1(5) - DELTA
  CALL RANGEKUTA (H, N, X0, Y0, X, Y, NPAR, PAR, ZERO, PAR(4))
  DC1DA = Y(2) - PAR(8)
  DC2DA = Y(5) - 0
  CALL VALINICIAIS (Y0, Y1, PAR, X0, X0I, N, NPAR)
  Y0(5) = Y1(5) + DELTA
  CALL RANGEKUTA (H, N, X0, Y0, X, Y, NPAR, PAR, ZERO, PAR(4))
  DC1DA = (Y(2) - PAR(8) - DC1DA) / (2 * DELTA)
  DC2DA = (Y(5) - 0 - DC2DA) / (2 * DELTA)
  CALL VALINICIAIS (Y0, Y1, PAR, X0, X0I, N, NPAR)
  AUX = PAR(4)
  PAR(4) = AUX - DELTA
  CALL RANGEKUTA (H, N, X0, Y0, X, Y, NPAR, PAR, ZERO, PAR(4))
  PAR(4) = AUX + DELTA
  CALL VALINICIAIS (Y0, Y1, PAR, X0, X0I, N, NPAR)
  PAR(4) = AUX + DELTA
  CALL RANGEKUTA (H, N, X0, Y0, X, Y, NPAR, PAR, ZERO, PAR(4))
  DC1DT = Y(2) - PAR(8)
  DC2DT = Y(5) - 0 - DC2DT
  DC1DT = (Y(2) - PAR(8) - DC1DT) / (2 * DELTA)
  DC2DT = (Y(5) - 0 - DC2DT) / (2 * DELTA)
  IF (ABS (DC1DA * DC2DT - DC1DT * DC2DA) .LE. 1.0D-300 .OR.
  ABS (DC2DT) .LE. 1.0D-300) THEN
    NITER = 2 * IITERMAX
    DA = 0
    DT = 0
  ELSE
    DA = (C1 * DC2DT - DC1DT * C2) / (DC1DA * DC2DT - DC1DT * DC2DA)
    DT = (C2 - DC2DA * DA) / DC2DT
  END IF
  Y1(5) = Y1(5) - DA
  PAR(4) = AUX - DT
  END IF
  GO TO 500
END IF
erroz1 = erro
theta1 = y0(3)
IF (INTER.NE.ZERO) THEN
  CALL VALINICIAIS (Y0, Y1, PAR, X0, X0I, N, NPAR)
  CALL RANGEKUTA (H, N, X0, Y0, X, Y, NPAR, PAR, INTER, PAR(4))
  WRITE (11, *) ' RESULTADO 0-Z1'
  WRITE (11, *) ' NITER, ERRO:', NITER, ABS (ERRO)
  WRITE (11, *) ' X, Y(1), Y(N):', X, Y(1), Y(N), I=1, N
  WRITE (11, *) ' X0I, Y1(1), Y1(N), X0I, Y1(I), I=1, N
  WRITE (11, *) ' PAR(1), PAR(NPAR):', PAR(1), PAR(I), I=1, NPAR)
  WRITE (11, *) ' PAR(1), PAR(NPAR):', PAR(1), PAR(I), I=1, NPAR)
END IF
CALCULO DE Z1 ATE ZF

```

```

DO 700 I=1,N,1
  YR(I)=YI(I)
  YI(I)=Y(I)
CONTINUE
XOR=XOI
XOI=X
NITER=0
ERRO=ERROMAX+1.0D0
800 IF (NITER.LT.ITERMAX.AND.ERRO.GT.ERROMAX) THEN
  NITER=NITER+1
  CALL VALINICIAIS (Y0,YI,PAR,X0,XOI,N,NPAR)
  CALL RANGEKUTA (H,N,X0,Y0,X,Y,NPAR,PAR,ZERO,PAR(6))
  C1=Y(2)-PAR(7)
  ERRO=ABS(C1)
  WRITE(*,*) 'ITERAÇÃO Z1-ZF', NITER, ' ERRO=', ERRO, ' Rf=', Y(2), ' Z2=', par(5)
  IF (ERRO.GT.ERROMAX) THEN
    CALL VALINICIAIS (Y0,YI,PAR,X0,XOI,N,NPAR)
    C2=PAR(5)
    PAR(5)=C2-DELTA
    CALL RANGEKUTA (H,N,X0,Y0,X,Y,NPAR,PAR,ZERO,PAR(6))
    DC1DA=Y(2)-PAR(7)
    CALL VALINICIAIS (Y0,YI,PAR,X0,XOI,N,NPAR)
    PAR(5)=C2+DELTA
    CALL RANGEKUTA (H,N,X0,Y0,X,Y,NPAR,PAR,ZERO,PAR(6))
    DC1DA=(Y(2)-PAR(7)-DC1DA)/(2*DELTA)
    IF (DC1DA.EQ.0.0) THEN
      NITER=2*ITERMAX
      DA=0
      DT=0
      WRITE(*,*) ' Erro na determinacao do balao'
      GO TO 800
    ELSE
      DA=C1/DC1DA
    END IF
    PAR(5)=C2-DA
  END IF
  GO TO 800
END IF
ERROZ=ERRO
END IF
IF (INTER.NE.ZERO) THEN
  CALL VALINICIAIS (Y0,YI,PAR,X0,XOI,N,NPAR)
  CALL RANGEKUTA (H,N,X0,Y0,X,Y,NPAR,PAR,INTER,PAR(6))
  WRITE(11,*) ' RESULTADO Z1-ZF'
  WRITE(11,*) ' NUNTER,ERRO:', NITER,ABS(ERRO)
  WRITE(11,*) ' X,Y(1)..Y(N):', X,Y(1),Y(N)
  WRITE(11,*) ' XOI,YI(1)..YI(N)', XOI,YI(1),YI(N)
  WRITE(11,*) ' PAR(1)..PAR(NPAR):', PAR(1),PAR(I),I=1,NPAR)
END IF

```

```

DO 900 I=1,N,1
  YI(I)=YR(I)
  CONTINUE
  XOI=XOR
  RETURN
  END
SUBROUTINE CALCNI
  INTEGER N,NPAR,I,ITERMAX,nproc,ensalo,niter
  DOUBLE PRECISION H,ERRORMAX,DELTA,INTER,XOI,YI(100),
  + PAR(100),Y(100),ERRO,C1,C2,DCIDA,DA,erroz1,erroz2,thetal
  erroz1=0
  erroz2=0
  thetal=0
  CALL LEADADOS(H,ERRORMAX,ITERMAX,DELTA,INTER,XOI,YI,PAR,N,
  + NPAR)
  read(10,*) nproc
  do 50 I=1,nproc,1
    read(10,*) NENSAIO,YI(4),PAR(6),PAR(7),PAR(2),PAR(13)
    write(11,*) 'Num Ensalo, I, ZF, p0, Tetna F'
    write(11,10) NENSAIO,YI(4),PAR(6),PAR(7),PAR(2),PAR(13)
    FORMAT (I8,5D15.3)
  10  NITER=0
     ERRO=ERRORMAX+1.0D0
  100 IF (NITER.LT.ITERMAX.AND.ERRO.GT.ERRORMAX) THEN
     NITER=NITER+1
  CALL CONTROLA(H,ERRORMAX,ITERMAX,DELTA,INTER,XOI,YI,PAR,N,
  + NPAR,Y,erroz1,erroz2,thetal)
  IF (erroz1.GT.erroz2.GT.ERRORMAX) THEN
     write(11,*) 'Erro na determinacao do balao'
  endif
  C1=Y(3)-PAR(13)
  ERRO=ABS(C1)
  WRITE(*,*) NITER,'NI=',PAR(9),' ERRO=',ERRO,' OF=',Y(3)
  IF (ERRO.GT.ERRORMAX) THEN
     C2=PAR(9)
     PAR(9)=C2-DELTA
  CALL CONTROLA(H,ERRORMAX,ITERMAX,DELTA,INTER,XOI,YI,PAR,N,
  + NPAR,Y,erroz1,erroz2,thetal)
  IF (erroz1.GT.erroz2.GT.ERRORMAX) THEN
     write(11,*) 'Erro na determinacao do balao'
  endif
  DCIDA=Y(3)-PAR(13)

```

```

CALL CONTROLIA(H,ERROMAX,ITERMAX,DELTA,INTER,X01,Y1,PAR,N,
+
PAR(9)=C2+DELTA
NPAR,Y,erroz1,erroz2,thetal)
NPAR,Y,erroz1,erroz2,thetal)
if (erroz1.GT.erroz2.GT.erroz3) then
write(11,*) 'Erro na determinacao do balao'
endif
DC1DA=(Y(3)-PAR(13)-DC1DA)/(2*DELTA)
IF (DC1DA.EQ.0.0) THEN
NITER=2*ITERMAX
DA=0
ELSE
DA=C1/DC1DA
END IF
PAR(9)=C2-DA
END IF
GO TO 100
END IF
write(11,*) ' u , thetal , num.iter , erro , dr/ds (0) , z1 , thetal , z2 '
write(11,20) PAR(9),Y(3),NITER,ERRO,YI(5) , par(4) , thetal , par(5)
format(2D15.3,I10,5D15.3)
write(11,*)
50 continue
CLOSE (UNIT=11)
CLOSE (UNIT=10)
RETURN
END
PROGRAM CORDA
CALL CALCNI
read(*,*)
STOP
END

```


Num Ensaios, T, Zf, Rf, p0, Tetha F	2275	0.176D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.574D+01	-0.133D+01	0.697D+00	0.170D+01	-0.134D+00
u, thetat, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, thetat, z2							0.504D+00	-0.133D+01	0.229D+01
Num Ensaios, T, Zf, Rf, p0, Tetha F	2276	0.176D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.574D+01	-0.124D+01	0.697D+00	0.170D+01	-0.134D+00
u, thetat, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, thetat, z2							0.418D+00	-0.124D+01	0.234D+01
Num Ensaios, T, Zf, Rf, p0, Tetha F	2277	0.183D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.574D+01	-0.110D+01	0.686D+00	0.175D+01	-0.133D+00
u, thetat, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, thetat, z2							0.367D+00	-0.110D+01	0.235D+01
Num Ensaios, T, Zf, Rf, p0, Tetha F	2278	0.179D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.574D+01	-0.120D+01	0.691D+00	0.172D+01	-0.133D+00
u, thetat, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, thetat, z2							0.427D+00	-0.120D+01	0.233D+01
Num Ensaios, T, Zf, Rf, p0, Tetha F	2279	0.169D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.574D+01	-0.165D+01	0.709D+00	0.164D+01	-0.134D+00
u, thetat, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, thetat, z2							0.678D+00	-0.165D+01	0.215D+01
Num Ensaios, T, Zf, Rf, p0, Tetha F	2280	0.179D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.574D+01	-0.137D+01	0.691D+00	0.172D+01	-0.133D+00
u, thetat, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, thetat, z2							0.633D+00	-0.137D+01	0.223D+01
Num Ensaios, T, Zf, Rf, p0, Tetha F	2281	0.193D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.574D+01	-0.128D+01	0.670D+00	0.182D+01	-0.132D+00
u, thetat, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, thetat, z2							0.933D+00	-0.128D+01	0.217D+01
Num Ensaios, T, Zf, Rf, p0, Tetha F	2644	0.154D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.523D+01	-0.121D+01	0.736D+00	0.153D+01	-0.123D+00
u, thetat, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, thetat, z2							0.232D+00	-0.121D+01	0.251D+01
Num Ensaios, T, Zf, Rf, p0, Tetha F	2645	0.152D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.523D+01	-0.125D+01	0.739D+00	0.151D+01	-0.123D+00
u, thetat, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, thetat, z2							0.241D+00	-0.125D+01	0.251D+01
Num Ensaios, T, Zf, Rf, p0, Tetha F	2646	0.147D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.523D+01	-0.146D+01	0.749D+00	0.147D+01	-0.124D+00
u, thetat, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, thetat, z2							0.304D+00	-0.146D+01	0.247D+01
Num Ensaios, T, Zf, Rf, p0, Tetha F	2319	0.127D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.523D+01	-0.218D+01	0.523D+01	0.147D+01	-0.124D+00
u, thetat, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, thetat, z2							0.247D+01	-0.218D+01	0.224D+01

0.320D+00	-0.218D+01	6	0.344D-05	0.793D+00	0.130D+01	-0.127D+00	0.237D+01	Num Ensaiõ, T, Zf, Rf, p0, Tetha F
0.232D+01	0.132D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.523D+01	-0.190D+01	-0.126D+00	0.245D+01	Num Ensaiõ, T, Zf, Rf, p0, Tetha F
0.309D+00	-0.190D+01	5	0.496D-05	0.783D+00	0.134D+01	-0.126D+00	0.245D+01	u, thetaf, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, theta1, z2
0.277D+00	-0.177D+01	4	0.982D-05	0.783D+00	0.134D+01	-0.126D+00	0.251D+01	u, thetaf, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, theta1, z2
0.261D+00	-0.117D+01	4	0.891D-05	0.724D+00	0.158D+01	-0.122D+00	0.248D+01	Num Ensaiõ, T, Zf, Rf, p0, Tetha F
0.160D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.523D+01	-0.117D+01	0.158D+01	-0.122D+00	0.261D+00	u, thetaf, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, theta1, z2
0.571D+00	-0.147D+01	4	0.233D-05	0.713D+00	0.163D+01	-0.122D+00	0.228D+01	Num Ensaiõ, T, Zf, Rf, p0, Tetha F
0.141D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.574D+01	-0.161D+01	0.163D+01	-0.122D+00	0.249D+01	Num Ensaiõ, T, Zf, Rf, p0, Tetha F
0.254D+00	-0.161D+01	5	0.848D-05	0.763D+00	0.142D+01	-0.137D+00	0.249D+01	u, thetaf, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, theta1, z2
0.268D+00	-0.124D+01	3	0.456D-05	0.732D+00	0.155D+01	-0.123D+00	0.248D+01	Num Ensaiõ, T, Zf, Rf, p0, Tetha F
0.156D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.523D+01	-0.124D+01	0.155D+01	-0.123D+00	0.268D+00	u, thetaf, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, theta1, z2
0.129D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.523D+01	-0.176D+01	0.131D+01	-0.126D+00	0.255D+01	Num Ensaiõ, T, Zf, Rf, p0, Tetha F
0.252D+00	-0.176D+01	4	0.517D-05	0.789D+00	0.131D+01	-0.126D+00	0.252D+00	u, thetaf, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, theta1, z2
0.165D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.523D+01	-0.960D+00	0.131D+01	-0.126D+00	0.153D+00	Num Ensaiõ, T, Zf, Rf, p0, Tetha F
0.153D+00	-0.960D+00	4	0.385D-05	0.716D+00	0.161D+01	-0.122D+00	0.153D+00	u, thetaf, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, theta1, z2
0.172D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.523D+01	-0.127D+01	0.161D+01	-0.122D+00	0.252D+01	Num Ensaiõ, T, Zf, Rf, p0, Tetha F
0.474D+00	-0.127D+01	4	0.642D-05	0.703D+00	0.167D+01	-0.122D+00	0.474D+00	u, thetaf, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, theta1, z2
0.132D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.523D+01	-0.180D+01	0.167D+01	-0.122D+00	0.234D+01	Num Ensaiõ, T, Zf, Rf, p0, Tetha F
0.287D+00	-0.180D+01	4	0.129D-05	0.782D+00	0.134D+01	-0.126D+00	0.287D+00	u, thetaf, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, theta1, z2
0.135D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.523D+01	-0.155D+01	0.134D+01	-0.126D+00	0.250D+01	Num Ensaiõ, T, Zf, Rf, p0, Tetha F
0.135D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.523D+01	-0.155D+01	0.134D+01	-0.126D+00	0.135D+01	u, thetaf, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, theta1, z2

0.237D+00	-0.155D+01	4	0.493D-05	0.775D+00	0.137D+01	-0.125D+00
0.256D+01	0.136D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.523D+01	-0.166D+01	
2326	0.136D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.523D+01	-0.166D+01	
u , thetat , num.iter , erro , dr/ds (0) , z1 , thetat1 , z2						
0.281D+00	-0.166D+01	7	0.581D-05	0.773D+00	0.138D+01	-0.125D+00
0.251D+01	0.136D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.523D+01	-0.170D+01	
2328	0.136D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.523D+01	-0.170D+01	
u , thetat , num.iter , erro , dr/ds (0) , z1 , thetat1 , z2						
0.292D+00	-0.170D+01	3	0.256D-05	0.773D+00	0.138D+01	-0.125D+00
0.249D+01	0.144D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.523D+01	-0.120D+01	
2657	0.144D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.523D+01	-0.120D+01	
u , thetat , num.iter , erro , dr/ds (0) , z1 , thetat1 , z2						
0.164D+00	-0.120D+01	4	0.469D-05	0.756D+00	0.145D+01	-0.124D+00
0.259D+01	0.144D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.523D+01	-0.120D+01	
2658	0.168D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.523D+01	-0.921D+00	
u , thetat , num.iter , erro , dr/ds (0) , z1 , thetat1 , z2						
0.147D+00	-0.921D+00	3	0.853D-05	0.710D+00	0.164D+01	-0.122D+00
0.251D+01	0.147D+00	0.346D+01	0.694D+00	0.523D+01	-0.122D+00	
2658	0.168D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.523D+01	-0.921D+00	
u , thetat , num.iter , erro , dr/ds (0) , z1 , thetat1 , z2						
0.147D+00	-0.115D+01	4	0.146D-05	0.756D+00	0.145D+01	-0.124D+00
0.260D+01	0.144D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.523D+01	-0.115D+01	
2659	0.144D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.523D+01	-0.115D+01	
u , thetat , num.iter , erro , dr/ds (0) , z1 , thetat1 , z2						
0.142D+00	-0.115D+01	4	0.146D-05	0.756D+00	0.145D+01	-0.124D+00
0.260D+01	0.128D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.523D+01	-0.123D+01	
2661	0.128D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.523D+01	-0.123D+01	
u , thetat , num.iter , erro , dr/ds (0) , z1 , thetat1 , z2						
0.907D-01	-0.123D+01	4	0.949D-05	0.792D+00	0.130D+01	-0.127D+00
0.270D+01	0.147D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.523D+01	-0.142D+01	
2660	0.147D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.523D+01	-0.142D+01	
u , thetat , num.iter , erro , dr/ds (0) , z1 , thetat1 , z2						
0.285D+00	-0.142D+01	4	0.890D-05	0.749D+00	0.147D+01	-0.124D+00
0.249D+01	0.186D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.662D+01	-0.145D+01	
2270	0.186D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.662D+01	-0.145D+01	
u , thetat , num.iter , erro , dr/ds (0) , z1 , thetat1 , z2						
0.706D+00	-0.145D+01	5	0.781D-05	0.680D+00	0.178D+01	-0.154D+00
0.214D+01	0.189D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.639D+01	-0.123D+01	
2268	0.189D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.639D+01	-0.123D+01	
u , thetat , num.iter , erro , dr/ds (0) , z1 , thetat1 , z2						
0.491D+00	-0.123D+01	4	0.857D-05	0.676D+00	0.179D+01	-0.149D+00
0.225D+01	0.189D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.639D+01	-0.123D+01	
2268	0.189D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.639D+01	-0.123D+01	
u , thetat , num.iter , erro , dr/ds (0) , z1 , thetat1 , z2						

0.134D+00	-0.131D+01	4	0.942D-06	0.746D+00	0.149D+01	-0.152D+00	0.253D+01	Num Ensaios, T, Zf, Rf, p0, Tetra F
2631	0.179D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.639D+01	-0.135D+01	0.172D+01	-0.149D+00	u, thetat, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, thetat1, z2
0.458D+00	-0.135D+01	5	0.390D-05	0.691D+00	0.691D+00	0.172D+01	-0.149D+00	Num Ensaios, T, Zf, Rf, p0, Tetra F
2634	0.158D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.639D+01	-0.148D+01	0.156D+01	-0.151D+00	u, thetat, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, thetat1, z2
0.279D+00	-0.148D+01	4	0.551D-05	0.728D+00	0.156D+01	-0.151D+00	0.238D+01	Num Ensaios, T, Zf, Rf, p0, Tetra F
2334	0.158D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.639D+01	-0.148D+01	0.156D+01	-0.151D+00	u, thetat, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, thetat1, z2
0.229D+00	-0.148D+01	4	0.563D-05	0.703D+00	0.167D+01	-0.150D+00	0.245D+01	Num Ensaios, T, Zf, Rf, p0, Tetra F
2335	0.172D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.639D+01	-0.108D+01	0.167D+01	-0.150D+00	u, thetat, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, thetat1, z2
0.140D+00	-0.108D+01	4	0.563D-05	0.703D+00	0.167D+01	-0.150D+00	0.245D+01	Num Ensaios, T, Zf, Rf, p0, Tetra F
2336	0.153D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.639D+01	-0.148D+01	0.153D+01	-0.152D+00	u, thetat, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, thetat1, z2
0.240D+00	-0.148D+01	4	0.438D-05	0.737D+00	0.153D+01	-0.152D+00	0.243D+01	Num Ensaios, T, Zf, Rf, p0, Tetra F
2636	0.177D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.639D+01	-0.126D+01	0.171D+01	-0.149D+00	u, thetat, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, thetat1, z2
0.334D+00	-0.126D+01	4	0.511D-05	0.695D+00	0.171D+01	-0.149D+00	0.233D+01	Num Ensaios, T, Zf, Rf, p0, Tetra F
2635	0.167D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.639D+01	-0.144D+01	0.163D+01	-0.150D+00	u, thetat, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, thetat1, z2
0.356D+00	-0.144D+01	4	0.814D-05	0.712D+00	0.163D+01	-0.150D+00	0.232D+01	Num Ensaios, T, Zf, Rf, p0, Tetra F
2637	0.162D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.639D+01	-0.144D+01	0.160D+01	-0.151D+00	u, thetat, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, thetat1, z2
0.306D+00	-0.144D+01	3	0.654D-05	0.720D+00	0.160D+01	-0.151D+00	0.236D+01	Num Ensaios, T, Zf, Rf, p0, Tetra F
2639	0.169D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.639D+01	-0.131D+01	0.165D+01	-0.150D+00	u, thetat, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, thetat1, z2
0.292D+00	-0.131D+01	6	0.744D-05	0.707D+00	0.165D+01	-0.150D+00	0.236D+01	Num Ensaios, T, Zf, Rf, p0, Tetra F
2341	0.144D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.639D+01	-0.144D+01	0.145D+01	-0.153D+00	u, thetat, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, thetat1, z2
0.158D+00	-0.144D+01	5	0.456D-05	0.756D+00	0.145D+01	-0.153D+00	0.253D+01	Num Ensaios, T, Zf, Rf, p0, Tetra F
2342	0.162D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.639D+01	-0.130D+01	0.160D+01	-0.151D+00	u, thetat, num.iter, erro, dr/ds (0), z1, thetat1, z2
0.221D+00	-0.130D+01	4	0.139D-05	0.720D+00	0.160D+01	-0.151D+00	0.243D+01	Num Ensaios, T, Zf, Rf, p0, Tetra F

2343	0.155D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.639D+01	-0.157D+01	0.301D+00	-0.157D+01	4	0.731D-05	0.733D+00	0.154D+01	-0.152D+00	0.236D+01
u , thetaf , num.iter , erro , dr/ds (0) , z1 , theta1 , z2													
Num Ensaios, T , Zf , Rf , p0 , Tetha F													
2344	0.155D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.639D+01	-0.112D+01	0.784D-01	-0.112D+01	5	0.286D-05	0.733D+00	0.154D+01	-0.152D+00	0.254D+01
u , thetaf , num.iter , erro , dr/ds (0) , z1 , theta1 , z2													
Num Ensaios, T , Zf , Rf , p0 , Tetha F													
2345	0.151D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.639D+01	-0.109D+01	0.442D-01	-0.109D+01	4	0.814D-05	0.742D+00	0.151D+01	-0.152D+00	0.258D+01
u , thetaf , num.iter , erro , dr/ds (0) , z1 , theta1 , z2													
Num Ensaios, T , Zf , Rf , p0 , Tetha F													
2642	0.126D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.639D+01	-0.163D+01	0.119D+00	-0.163D+01	4	0.667D-05	0.796D+00	0.128D+01	-0.156D+00	0.264D+01
u , thetaf , num.iter , erro , dr/ds (0) , z1 , theta1 , z2													
Num Ensaios, T , Zf , Rf , p0 , Tetha F													
2643	0.159D+01	0.346D+01	0.694D+00	0.639D+01	-0.104D+01	0.496D-01	-0.104D+01	4	0.535D-05	0.727D+00	0.157D+01	-0.151D+00	0.254D+01
u , thetaf , num.iter , erro , dr/ds (0) , z1 , theta1 , z2													
Num Ensaios, T , Zf , Rf , p0 , Tetha F													

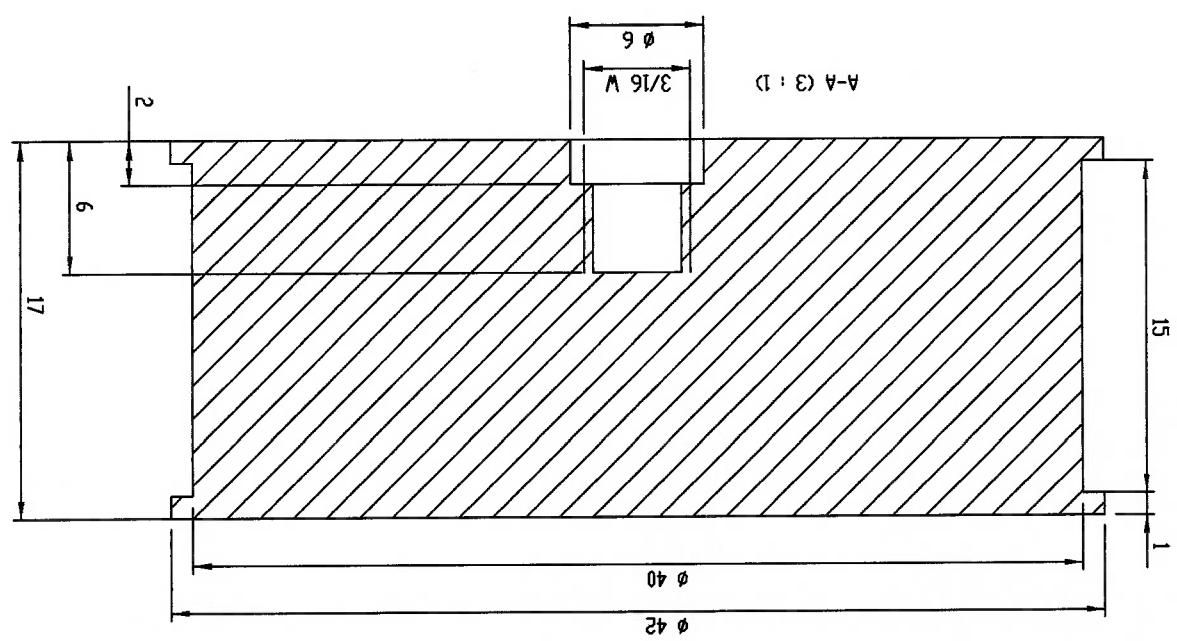
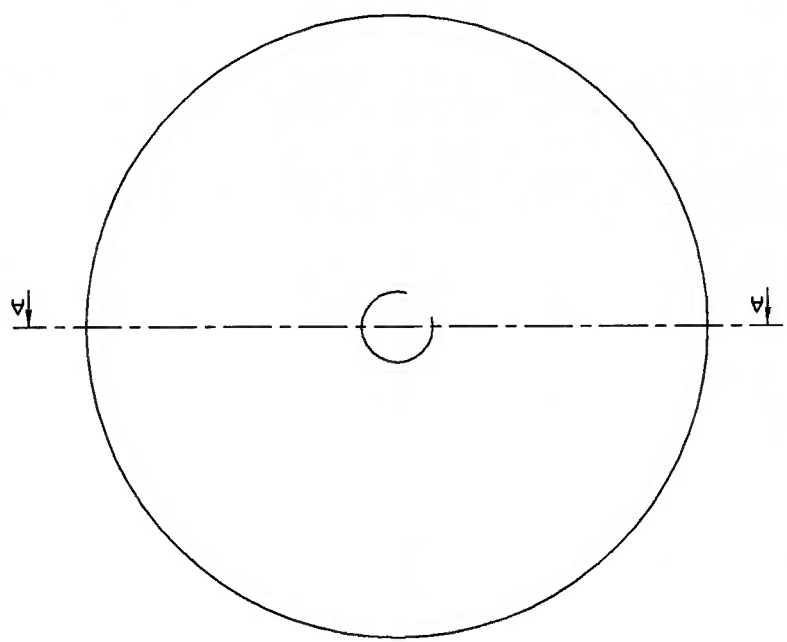
nome		assinatura		data		peça nº		des.	
outros não especificados						8		25/05/04	
dimensões em milímetros								ALUMINIO	
tolerâncias: +/- 0,05								PESO	
angular: +/- 0° 30'								A4	
material									

posicao 8

POLIA DO MOTOR

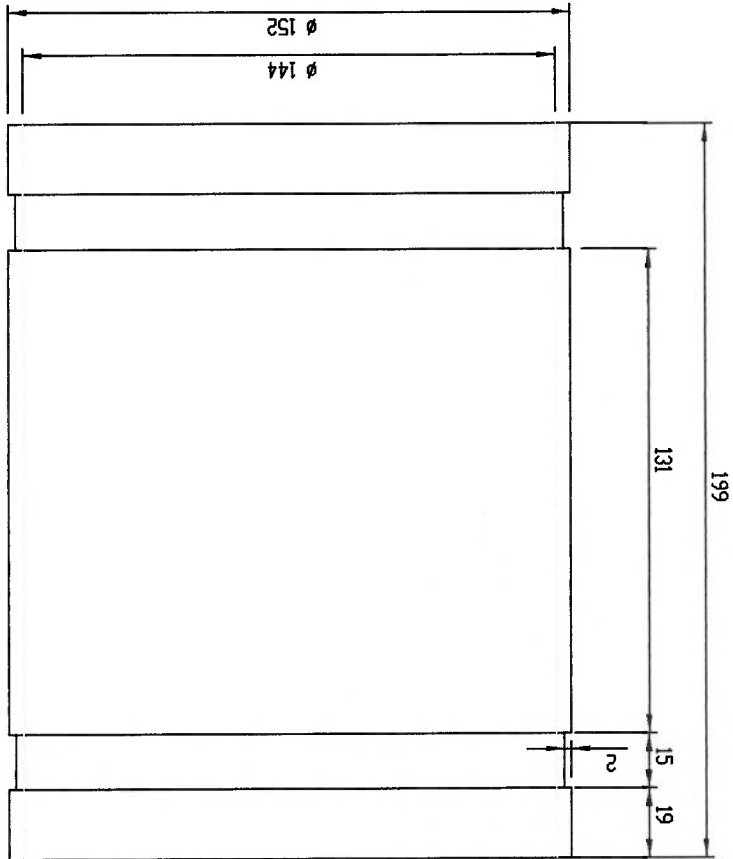
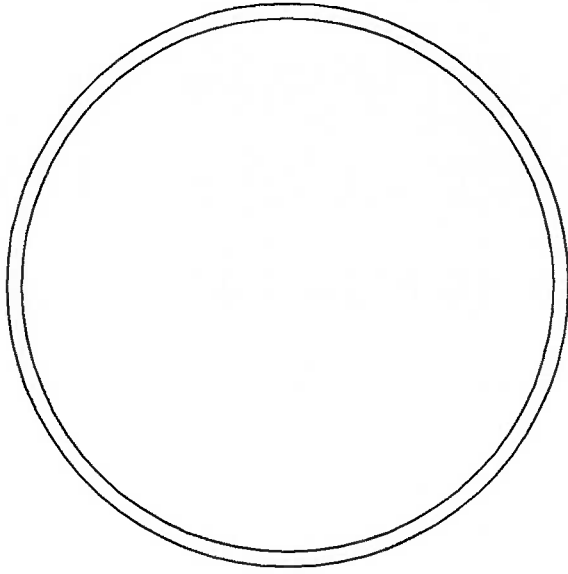
Escala 2:1

1 PEÇA



REV.							
des.							
cheq.							
nome							
assntura							
data							
material							
PESO							
peça nº							
data							
nome							
angular: +/- 0° 30'							
tolerancias: +/- 0,05							
dimensões em milímetros							
outros não especificados							
posicao							
1							
escala							
1:2							
PANELA ANTI-BALÃO							
A4							

1 PEÇA



REV.					
des.					
che.					
nome					
assinatura					
data					
material	AÇO SAE 1020				
PESSO					
peça nº					
posição	4				
outros não especificados					
dimensões em milímetros					
tolerâncias: +/- 0,05					
angular: +/- 0° 30'					
escala	1:1				
MANCAL DO EIXO					
A4					

3 PEÇAS

