



Anais do XXXIV COBENGE. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, Setembro de 2006.
ISBN 85-7515-371-4

MANCAIS AEROSTÁTICOS E MANCAIS CONVENCIONAIS UM ESTUDO COMPARATIVO COM FINS DIDÁTICOS

Gilberto T. da Silva – gteixeira@mackenzie.com.br

Luiz A. Pinheiro Balestrero - balestrero@mackenzie.com.br

Universidade Presbiteriana Mackenzie, Escola de Engenharia.

Rua da Consolação, 896 – Prédio 6

CEP 01302-907 – São Paulo – SP

Resumo: Neste trabalho é apresentado o projeto proposto para ser desenvolvido na Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie com o objetivo de motivar os alunos de Física Experimental-II, apresentando um estudo comparativo, com fins didáticos, relativos aos diversos tipos de mancal, especialmente os de contato deslizante e o lubrificado a filme fluido – ar.

Palavras-chave: mancais aerostáticos, estudo comparativo, aprendizagem.

1. INTRODUÇÃO

Com a crescente necessidade de alta precisão, estabilidade e elevadas rotações de trabalho, os mancais aerostáticos tem-se destacado nas aplicações em máquinas ferramentas e equipamentos de precisão, dentre os quais, equipamentos para fins didáticos. Segundo BALESTRERO (2005), os mancais aerostáticos são indiferentes à variação de temperatura, apresentam nível elevado de amortecimento, operam em altas velocidades, possuem desgaste nulo, suportam cargas radiais, axiais e combinadas, e apresentam normalmente as formas de construção cilíndricas, planas circulares e anulares, sendo a forma plana circular o modelo proposto no presente trabalho.

Na disciplina Física Experimental II, ministrada no 2º semestre do curso de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie, com a preocupação de ensinar aos alunos a desenvolverem projetos embasados em teorias sólidas, enfatizando a importância do alcance dos resultados obtidos e visando aplicabilidade do conteúdo da disciplina e do ensino aprendizagem, idealizou-se um estudo experimental comparativo com o objetivo da motivação dos alunos de Engenharia Mecânica com o desenvolvimento de experiências realizadas no laboratório de Física, como a determinação do momento de inércia de sistemas girantes, um dotado de um mancal convencional e outro dotado de um mancal aerostático plano axial, objetivo do presente trabalho. Uma síntese da aplicação dos mancais aerostáticos,

e a proposta para a determinação experimental do momento de inércia fazem parte do contexto deste trabalho. Para tanto, será fornecido ao aluno, o material didático necessário para a análise comparativa dos dois equipamentos, bem como o detalhamento do funcionamento dos mancais.

2. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

O material a ser fornecido ao aluno, como se segue, será constituído por breve relato histórico relacionado aos diversos tipos de mancais, enfatizando as principais diferenças; proposta de determinação do momento de inércia dos dois sistemas girantes utilizados; detalhamento de todas as peças constituintes de cada um dos dois sistemas, enfatizando as diferenças fundamentais; proposta da análise do índice de erro.

2.1. Os Mancais Aerostáticos

Os primeiros estudos utilizando o ar como lubrificante foram feitos no início do século passado, quando casualmente, em 1828, WILLIS descobriu a lubrificação aerostática. A evolução do uso deste novo lubrificante foi bastante lenta até KINGSBURY (1897) construir o primeiro mancal radial lubrificado a ar.

Segundo BALESTRERO (1991) foram os trabalhos em mancais de filme de fluido conduzidos por HIRN, em 1854, que indicaram a possibilidade de reduzir o atrito em maquinaria através do uso de mancais aerostáticos.

O problema da lubrificação recebeu novo impulso somente em 1913 quando HARRISON desenvolveu um estudo teórico da lubrificação aerostática para mancais planos e radiais. A não linearidade das equações e a falta de meios para resolvê-las, resultaram no progresso lento de previsões teóricas que sustentassem a contento a investigação experimental.

Somente nos anos seguintes a segunda grande guerra é que um progresso mais significativo pode ser observado nessa nova tecnologia, mas foi a partir de 1960 que a tecnologia de lubrificação aerostática se desenvolveu notavelmente, devido às vantagens especiais que os mancais aerostáticos ofereciam em relação aos mancais convencionais.

Segundo CHENG & ROWE (1995), a seleção do tipo de mancal aerostático depende fundamentalmente do tipo de aplicação e fatores operacionais desejados. Isso pode ser definido com a utilização da Tabela 1. Observando-se esta tabela, nota-se que a tradicional preferência pelos mancais de elementos rolantes é devida ao seu baixo custo e alta rigidez, porém, apresentam limites de utilização menores quando se deseja alta velocidade, baixo atrito, repetibilidade de movimento, temperatura e aplicações especiais. Os mancais com lubrificação líquida são capazes, por sua vez, de oferecer uma operação suave, porém exibem uma elevada resistência ao atrito viscoso nas velocidades altas, apresentando problemas de aquecimento e necessitam de lubrificantes que possam suportar a severidade do ambiente. Portanto, grande atenção tem sido concentrada nos mancais que se utilizam do ar como lubrificante - os mancais aerostáticos.

Existem algumas aplicações, onde só é possível a utilização de mancais aerostáticos, como é o caso das máquinas ferramentas para usinagem com diamante, utilizadas na produção de espelhos de primeira superfície com precisão nanométrica.

Tabela – 1: Comparação entre os diversos tipos de mancais rotativos.

onde: 5 – excelente, 4 – bom, 3 – moderado, 2 – regular, 1- ruim e 0 – não aplicável.
 <http://www.lmp.ufsc.br/publicações/arquivos/tese_milton/principio_09_arquivos/principio_09_1_D.htm>

TIPO DE MANCAL	DE CONTATO		LUBRIFICADO A FILME FLUIDO		S/ CONTATO
	DESLIZANTE	ELEM. ROL.	ÓLEO	AR	MAGNÉTICO
RIGIDEZ	4	3	4	3	5
AMORTECIMENTO	4	2	3	4	1
NÍVEL DE VIBRAÇÕES	1	3	4	4	3
CAPACIDADE DE CARGA	4	3	4	2	4
ATRITO ESTÁTICO	1	4	0	0	0
PRECISÃO DE GIRO	2	4	3	5	4
CUSTO	5	4	3	3	1
DESEMPENHO EM BAIXA VELOCIDADE.	4	4	5	5	4
DESEMPENHO EM ALTA VELOCIDADE	1	2	4	5	5
RESISTÊNCIA À BAIXA TEMPERATURA	4	4	4	5	4
RESISTÊNCIA À ALTA TEMPERATURA	1	2	3	4	3
RESISTÊNCIA À UMIDADE	2	4	4	4	3
GERAÇÃO DE CALOR	1	3	1	5	1
VIDA	1	3	4	5	5
TOTAL	35	45	46	54	43

Resumindo os mancais aerostáticos possuem diversas vantagens (BALESTRERO 1991) destacando-se:

- Baixo atrito;
- Capacidade de operar a altas rotações;
- Grande precisão de giro;
- Desgaste muito baixo ou nulo;
- Capacidade de operar em temperaturas extremas;
- Baixo ruído;
- O ar pode escapar para o ambiente sem perigo de contaminação, não havendo necessidade de equipamento auxiliar para reciclagem;
- Pode operar a baixas rotações sem falha na lubrificação.

A Figura - 1 ilustra a configuração do modelo do mancal aerostático axial utilizado no equipamento para medir momento de inércia.

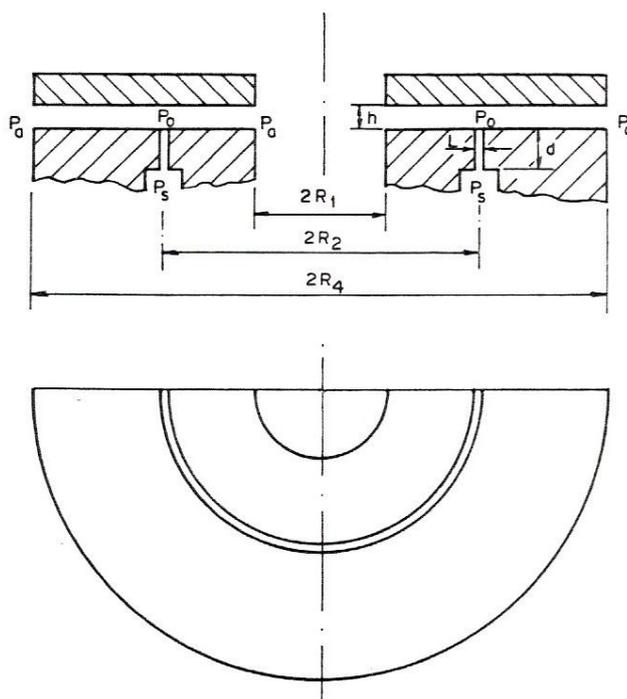


Figura -1: Mancal aerostático plano axial .
Acervo pessoal (BALESTRERO)

O mancal ilustrado na Figura - 1 consiste de duas placas circulares de raio interno R_1 e raio externo R_4 . Uma das placas tem uma ranhura de alimentação circular do ar comprimido de raio R_2 . O ar comprimido do compressor é fornecido para o mancal a uma pressão constante P_s , em seguida passa através das ranhuras até a folga do mancal, a uma pressão P_o e escoar radialmente até as bordas interna e externa do mancal para a atmosfera a uma pressão constante P_a . Para esta configuração, os fluxos radiais interno e externo são iguais. Quando a carga axial é aplicada perpendicularmente à placa do mancal, esta se desloca nesta direção, diminuindo a folga entre as duas placas e aumentando, conseqüentemente, a resistência à vazão de ar, de modo que menor quantidade de ar escoará para a atmosfera, reduzindo a queda de pressão na ranhura e fazendo com que a pressão na folga aumente e suporte a carga aplicada. (BALESTRERO, 1991)

2.2 Equipamentos utilizados

a) Equipamento para a determinação do momento de inércia, utilizando mancal convencional.

A Figura - 2 ilustra um aspecto do equipamento com mancal convencional. Observando a Figura - 2, nota-se que o mancal convencional nada mais é do que um eixo (Figura 2-b) circundando em torno de uma bucha (Figura 2-c), os quais constituem um mancal radial comum. A (Figura 2-a) mostra uma vista ampliada do mancal montado.

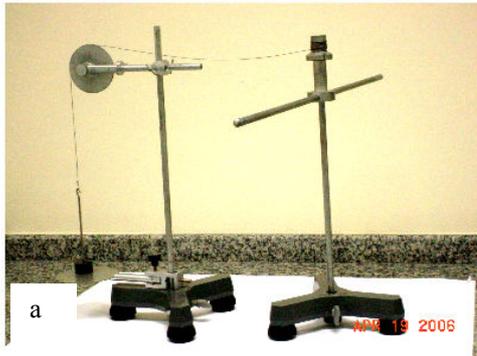


Figura – 2: Equipamento com mancal convencional.
Acervo pessoal (SILVA,G.T.)

) Equipamento para a determinação do momento de inércia, utilizando mancal aerostático.

A Figura - 3 ilustra um aspecto do equipamento com mancal aerostático. Observando a Figura 3 (b) nota-se a tubulação de entrada do ar no corpo inferior do mancal.

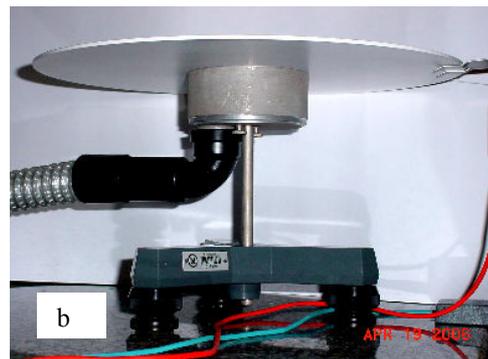
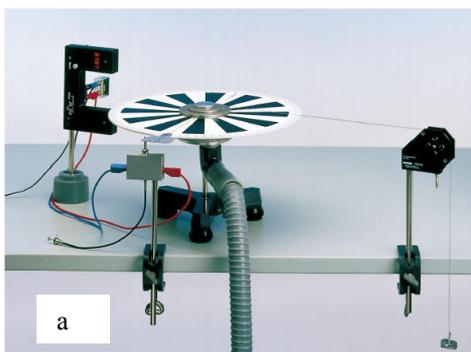


Figura – 3: Aspecto do equipamento com mancal aerostático axial
Fonte: (a) PHYWE. (b) Acervo pessoal (SILVA,G.T.)

A Figura - 4 ilustra um aspecto do mancal aerostático separado do equipamento para melhor visualização. Na Figura 4 (a) e (b) observa-se as ranhuras circulares de saída do ar para a sustentação da carga.

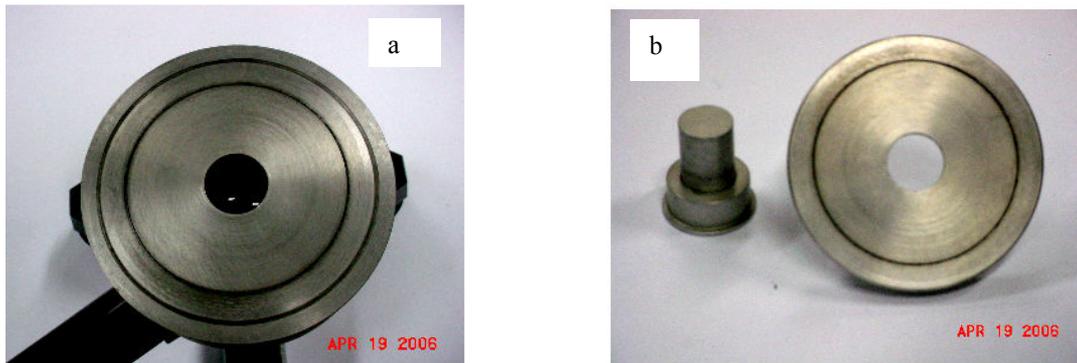


Figura – 4: Mancal aerostático axial montado.
Acervo pessoal (SILVA, G.T.)

A Figura - 5 ilustra o mancal axial desmontado. Nota-se, na Figura 5 (a), orifícios de entrada de ar que alimenta as ranhuras da placa superior e, na Figura 5 (b), a entrada de ar na placa inferior do mancal, também chamado de câmara. O funcionamento do mancal já foi explicado anteriormente no item 2.1.

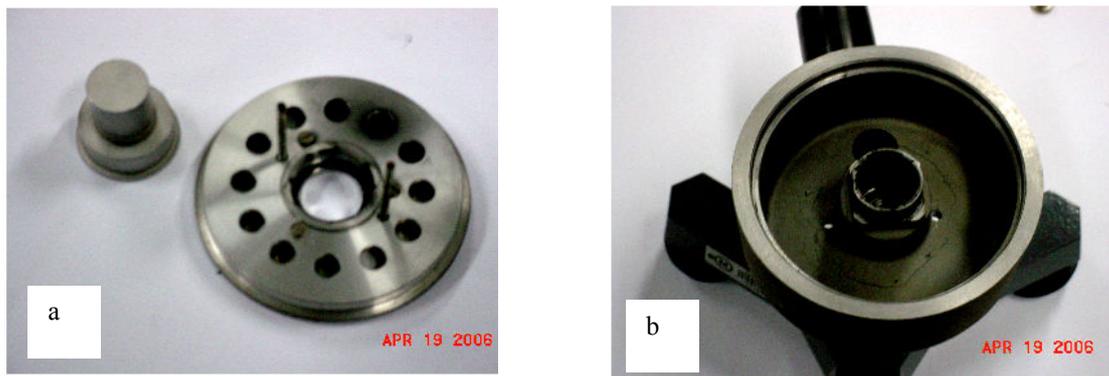


Figura - 5: Mancal aerostático axial desmontado.
Acervo pessoal (SILVA, G.T.)

2.3 Determinação Experimental do Momento de Inércia

a) Utilizando Mancal Convencional

Observando a Figura - 6 nota-se que utilizando uma carga motriz P , aplica-se uma força motriz por meio de um fio, que é enrolado no cilindro associado ao mancal. Libera-se o sistema, medindo o tempo para um determinado número de rotações realizado, calculando a seguir a aceleração angular (α) adquirida pelo sistema, neste intervalo de tempo.

Conhecido o raio (r) do cilindro e admitindo que a força F aplicada ao sistema corresponda ao peso da carga de tração, calcula-se o torque M da força F .

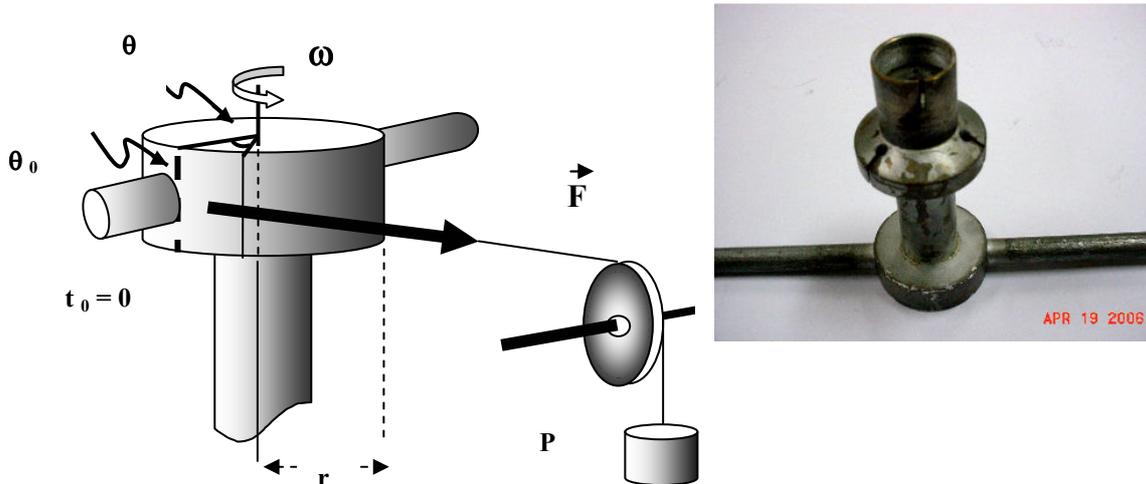


Figura - 6: Representação esquemática da montagem do experimento para a determinação do momento de Inércia com mancal convencional e fotografia do mancal (Acervo pessoal SILVA G.T).

A seguir, calcula-se o momento de inércia do sistema (I), pela relação:

$$I = M / \alpha$$

Compara-se o resultado experimental obtido, com o valor teórico do sistema girante, estabelecendo o índice de erro do experimento.

b) Utilizando Mancal Aerostático

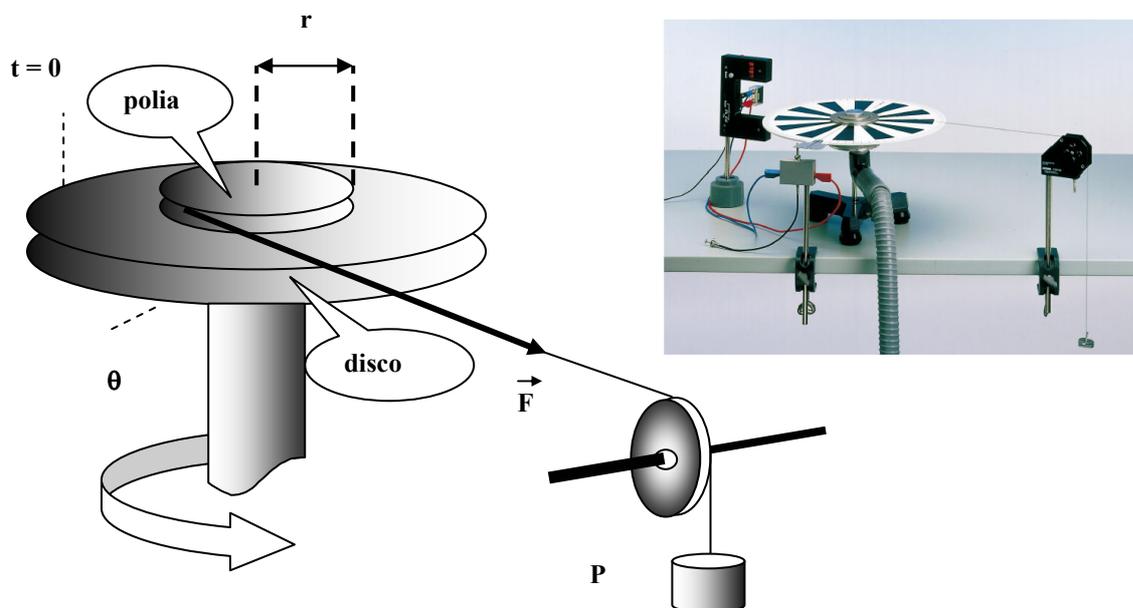


Figura -7: Representação esquemática da montagem do experimento para a determinação do momento de Inércia com mancal aerostático. Acervo pessoal (SILVA, G.T) . Fotografia (PHYWE).

Observando-se a Figura 7, nota-se que utilizando uma carga motriz P, aplica-se uma força motriz por meio de um fio, que é enrolado na polia associada ao disco. Libera-se o sistema, medindo o tempo para um determinado ângulo de giro, calculando a seguir a aceleração angular (α) adquirida por este, neste intervalo de tempo.

Conhecido o raio (r) da polia e admitindo que a força F aplicada ao sistema corresponda ao peso da carga de tração, calcula-se o torque M da força F.

A seguir, calcula-se o momento de inércia do sistema (I), pela relação:

$$I = M / \alpha$$

Compara-se o resultado experimental obtido, com o valor teórico do sistema girante, estabelecendo o índice de erro do experimento (MASSON; SILVA 2006).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos que visam a seleção e o projeto e aplicação dos mancais aerostáticos, sempre foram vistos com bons olhos pelos institutos de pesquisa e graduação das universidades.

O projeto de mancais de precisão é reconhecido pelo meio industrial e acadêmico de hoje como uma necessidade prioritária. Porém, uma das maiores dificuldades tribológicas tem sido, que o projeto de mancais não era anteriormente reconhecido como um item carente de cuidados especiais. O mancal é, apesar de tudo, uma diminuta parte na maioria das máquinas e, por isso, um componente extremamente simples. Existem muito poucos produtos na moderna tecnologia que sejam mais simples, em forma de uma bucha circundando um eixo, os quais constituem um mancal radial comum, apesar do projeto e fabricação desses elementos serem resguardados por uma vasta experiência e conhecimentos científicos e tecnológicos.

A imensa simplicidade dos mancais, resultou na negligência dos mesmos, e um dos principais requisitos hodiernos é prover os projetistas de máquinas, engenheiros e estudantes de engenharia com a mais completa apreciação das características de operação e projeto dos mancais, objetivo fundamental dos centros de pesquisa que reconhecem a importância da análise dos aspectos tribológicos no projeto de máquinas. Assim, justifica-se a qualquer tempo a investigação, seja ela teórica ou experimental, de novas tecnologias que visem a melhoria da qualidade dos projetos de máquinas através da aplicação dos mancais aerostáticos nos equipamentos didáticos para a engenharia.

Esta metodologia didática desenvolvida no presente trabalho pode contribuir, para o interesse do aluno no tópico apresentado, aumentando seu conhecimento no que tange ao desenvolvimento de experimentos de Física Básica, desenvolvidas na disciplina Física Experimental-II no curso de Engenharia, bem como, mostrar aos alunos que existe uma relação íntima entre esses experimentos e os conteúdos específicos de disciplinas de etapas futuras, com o objetivo de motivá-los em suas atividades discentes. Quanto ao material didático utilizado, como demonstrado no decorrer deste trabalho, será o equipamento do Laboratório de Física Básica e o livro texto correspondente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALESTRERO, L. A. P. **Estudo de restritores ranhurados para mancais aerostáticos radiais e axiais.** São Carlos, 1991. 127p. (Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos / USP).
- BALESTRERO, L. A. P. **Uma avaliação de mancais aerostáticos para máquinas ferramentas: Estudo e dimensionamento de eixos árvores.** São Carlos, Julho de 1997. 208p. (Tese de Doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo).
- BALESTRERO, L. A. P. Desenvolvimento de uma metodologia para a seleção de mancais de filme de fluido aerostáticos aplicada a disciplina construção de máquinas. XXXIII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, Campina Grande, Paraíba, Setembro de 2005.
- CHENG, K. & ROWE, W. B. A selection strategy for the design of externally pressurized journal bearings. *Tribology International*, vol.28, n7, pp. 465 - 474, 1995.
- HARRISON, W. J. The hydromechanical theory of lubrication with special reference to air as a lubricant. *Trans. camb. phil. soc.*, 228 : 39 - 54, May. 1913.
- HIRN, M. G. Sur les principaux phenomenes que presentent les frottements ediates, et sur les diverses manieres de determiner la valeur mecanique des machines. *Soc. ind mulhouse bull.*, 26 - 200, jun. 1854.
- <http://www.lmp.ufsc.br/publicações/arquivos/tese_milton/principio_09_arquivos/principio_09_1_D.htm> Acesso em 21/04/2006.
- KINGSBURY, A. Experiments with an air lubricated journal. *I. Amer. soc. nav. Engrs.*, 9 : 267 - 292, 1897.
- LEYBOLD-HERAEUS, **Physics Cataloghe of Experiments**, Leybold-Heraeus GMBH & Co., Germany.
- MASSON, T. J ; SILVA, G. T. **Física Experimental-II.** São Paulo – Ed.Plêiade Ltda., 2006.
- POWELL, J. W. **Design of aerostatic bearings.** London, The machinery publishing, 280p, 1970.
- PHYWE – **University Laboratory Experiments Physics** - vol(1-5) *Phywe Systeme* GMBH, Göttingen, Germany.
- ROWE, W. B. ; CHENG, K. ; IVES, D. A knowledge - based system for the selection of fluid film journal bearings. *Tribology international*, vol. 24, n5, pp. 291 - 297, oct. 1991.

AEROSTATICS BEARINGS AND CONVENTIONALS BEARINGS A COMPARATIVE STUDY WITH DIDACTIC PURPOSE

Abstract: *This work presents the project proposed to be developed in Universidade Presbiteriana Mackenzie Engineering School, with the objective of motivating the students in Experimental Physics – II, presenting a comparative study, with didactic purpose, related to various types of bearings, specially the conventional bearings and aerostatics bearings.*

Key-words: *bearings, comparative study, learning.*