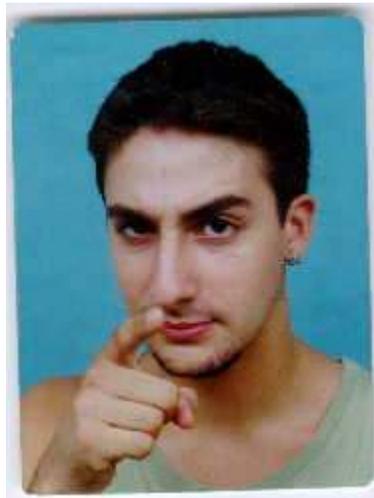


**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE
CAMPINAS**

RELATÓRIO FINAL F809



Banco de Rotações

Aluno: Luís Gustavo Vitti

Orientador: André Koch Torres de Assis

Índice:

AGRADECIMENTOS	3
MOTIVAÇÃO	3
RESUMO	4
INTRODUÇÃO	4
MONTAGEM DO BANCO DE ROTAÇÕES	4
DESCRIÇÃO DAS EXPERIÊNCIAS	8
OUTRAS POSSIBILIDADES	14
CONCLUSÕES	15
INFORMAÇÕES TÉCNICAS	15
REFERÊNCIAS	16

AGRADECIMENTOS

Em especial gostaria de agradecer ao prof. André pelas suas contribuições técnicas a respeito do experimento e pelas contribuições de caráter filosóficas que me instigaram a lidar com o problema simples do famoso balde de Newton.

Também gostaria de agradecer a Agnaldo A. Guedes pela ajuda na montagem e manufatura do banco de rotações e por me mostrar que a prática é completamente diferente da teoria.

Também gostaria de agradecer aos meus pais, únicos e exclusivos financiadores deste projeto. Sem eles, eu não teria nascido e muito menos teria dinheiro para comprar o equipamento para toda a montagem.

MOTIVAÇÃO

A motivação principal desta montagem do banco de rotações foi a relação que ela permite com um experimento muito simples como o do balde de Newton. Este experimento de Newton tem uma importância muito grande relacionada com suas noções de espaço, tempo e movimento absolutos, assim como de espaço, tempo e movimentos relativos.

Além deste experimento, o banco de rotações permite a realização de mais de 30 experimentos didáticos em física, [1] e [2]. Detalharemos alguns destes experimentos adiante, o que o torna um aparato multifuncional em sala de aula.

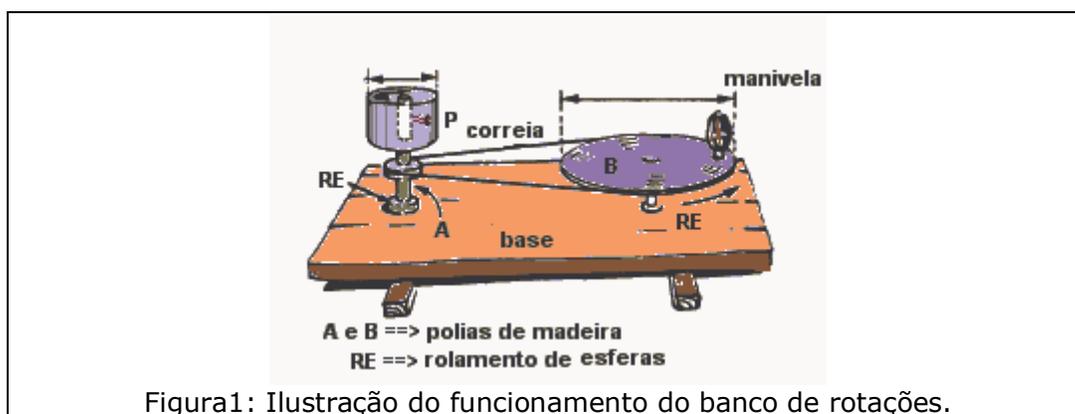
RESUMO

Conforme dissemos anteriormente, o banco de rotações permite a montagem de mais de 30 experimentos distintos didáticos em física, mostrando assim a importância de sua manufatura. Com esta visão passamos dois meses até chegarmos a uma boa montagem, onde resolvemos problemas pertinentes em outras tentativas. Conseguimos então um aparato estável, robusto e de certa forma de baixo custo.

Nossa ênfase com o banco de rotações foi a da montagem do experimento do balde de Newton. Como descrito acima, ele possui uma importância histórica no desenvolvimento dos patamares da mecânica newtoniana. Possui ainda uma fácil explicação matemática com base nas leis de Newton, conforme descreveremos adiante.

INTRODUÇÃO

Uma amostra da forma do banco de rotações está ilustrada simplificada na Figura 1 contendo apenas as partes montadas, dando assim uma idéia do seu funcionamento, [1].



MONTAGEM DO BANCO DE ROTAÇÕES

Nossa montagem do banco de rotações se deu por 3 partes. Na primeira parte foi montado um protótipo de isopor que serviu como base para analisarmos possíveis falhas que

poderiam surgir em nossa montagem final. O protótipo não funcionou. Porém se mostrou interessante pelo fato de que pudemos ver que, para nossa montagem final, precisaríamos de um aparato que tivesse forma robusta para suportar rotações e pesos consideráveis.

Nossa segunda montagem se fez com uma base de madeira, de 100 cm por 50 cm. Foram usados dois cilindros como suporte para as polias, com altura de 4 cm e diâmetro de 4 cm, circundados por um rolamento cada um, para dar o movimento livre das polias. As duas polias foram construídas de forma similar. A polia maior foi feita pela superposição de 3 discos, de diâmetros 20 cm, 14 cm e 20 cm. A polia menor também foi feita com 3 discos, de diâmetros 20 cm, 5 cm e 20 cm. A espessura de cada placa era de 0,8 cm. O desenho do empilhamento das placas para o disco maior e para o menor está esquematizado na Figura 2.

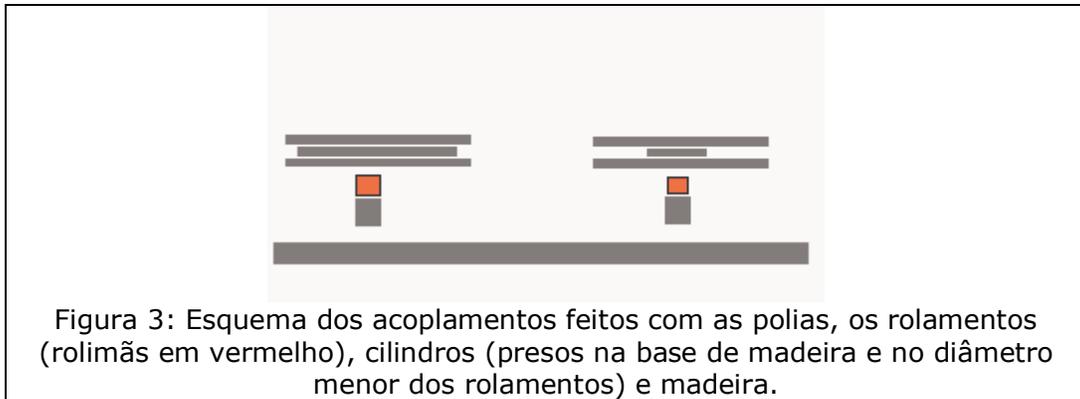


Figura 2: Esquema da montagem das polias de raio maior e menor.

Assim sendo, a correia passaria pelos discos centrais sem correr, graças à influência dos discos externos.

Essa montagem, infelizmente, também não deu certo pela baixa espessura da madeira, fazendo com que não conseguíssemos manter um plano de rotação estável entre as duas polias.

Os acoplamentos podem ser mostrados pela Figura 3 a seguir.



A montagem final trás como única diferença as polias. Agora foi empregado um outro acoplamento, proposto pelo marceneiro responsável. Ele utiliza discos únicos no lugar da superposição de discos. Os discos únicos são então ligados por polias menores na parte inferior, fornecendo o movimento simultâneo dos discos pela correia.

A imagem do projeto final pode ser visto em diferentes posições pela Figura 4.

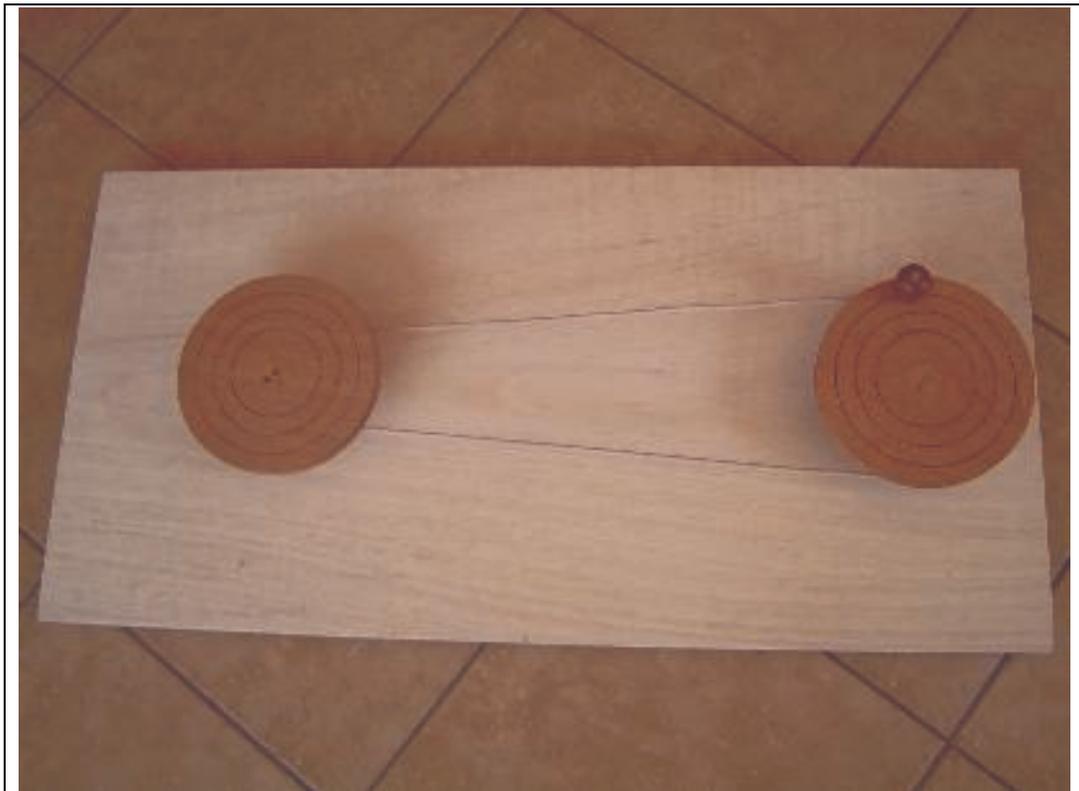




Figura 4: Fotos da montagem final do banco de rotações.

Esta última montagem foi a montagem definitiva, onde serão apresentados os experimentos.

Conforme descrito anteriormente, muitos são os experimentos realizáveis com este aparato. A seguir detalharemos alguns deles.

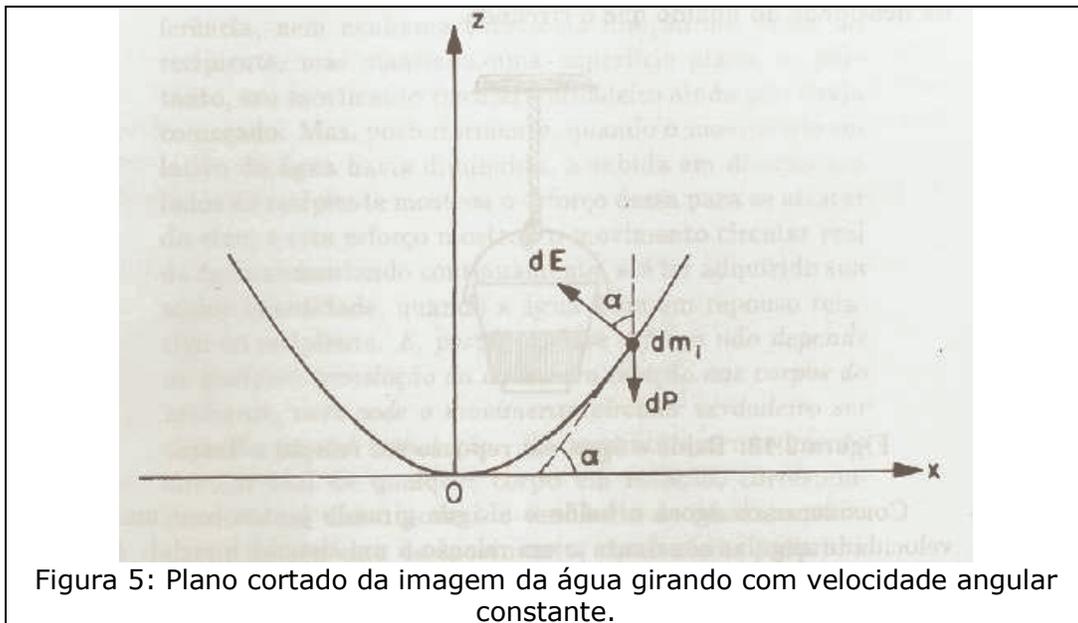
DESCRIÇÃO DAS EXPERIÊNCIAS

Apresentamos a seguir as experiências que realizamos utilizando este banco de rotações.

- Balde de Newton

O problema do balde de Newton consiste em obter a forma da curva apresentada pela superfície de um líquido, imerso num balde, quando se gira o mesmo ao redor do eixo de simetria do balde com uma frequência angular constante ω em relação a um referencial inercial.

Vamos resolver este problema utilizando a segunda lei do movimento de Newton. Consideramos um elemento infinitesimal de volume do líquido com massa dm logo abaixo da superfície, conforme mostra a Figura 5.



Este elemento sofre a força gravitacional para baixo $dP = dm \cdot g$ e uma força normal à superfície do líquido devida ao gradiente de pressão, dE . Estabilizado o movimento de tal forma

que a velocidade angular em torno do eixo Z seja constante, este elemento de massa descreverá um movimento circular uniforme em torno do eixo com raio constante, não havendo assim força resultante paralela ao eixo Z. A única força resultante então é a centrípeta que muda apenas a direção do movimento, não alterando o módulo da velocidade tangencial.

Assim sendo, temos, da Figura 5 as relações para os eixos cartesianos:

$$\text{Em Z: } dE \cdot \cos \alpha = dm \cdot g \quad (1)$$

$$\text{Em X: } dE \cdot \sin \alpha = dm \cdot a_c = dm \cdot \omega^2 \cdot x \quad (2)$$

Tomando a razão (2) por (1) ficamos com:

$$\tan \alpha = \frac{\omega^2}{g} \cdot x = \frac{dz}{dx} \quad (3)$$

Ainda de (3), integrando em x temos a forma da curva que contém a origem $x=z=0$, resultando em:

$$z = \frac{\omega^2}{2g} x^2 \quad (4)$$

Que é justamente a forma do parabolóide encontrado no balde. Pela análise da equação (4) podemos ver que, aumentando ω , aumentamos a concavidade da curva, fato que também é observado em nossa montagem do balde de Newton.

Informamos ainda que esta é apenas uma das formas de demonstrar matematicamente a forma da curva observada pelo líquido no balde, sendo que muitas outras existem. Podemos também demonstrar essa curva utilizando qualquer outro ponto do líquido, não estando necessariamente na superfície. Ou então utilizando o cálculo variacional. Nossa escolha teve por motivo a simplicidade de sua resolução.

Nossa montagem, como mostra a Figura 6, foi feita utilizando um pote de shampoo com um formato favorável à visualização do efeito. O balde foi pregado em uma chapa metálica de comprimento igual ao diâmetro do disco, com a ajuda de uma massa de cola durepoxi. Esta montagem foi presa ao banco de rotações com a ajuda de dois cliques grandes, que também estão indicados na Figura 6.



Figura 6: Imagem da montagem do experimento do balde.

É com esta montagem que faremos a apresentação do experimento com o balde, mostrando a influência da força centrípeta sobre o fluido.

- **Pêndulo de Foucault**

A importância do pêndulo de Foucault é principalmente pelo seu aspecto histórico e pela prova da rotação da Terra. Em 1851 Foucault montou, pela primeira vez, este dispositivo. Demonstrou então a rotação da Terra em torno do seu eixo Sul-Norte. A idéia básica do pêndulo, descrita pela Figura 7, [1], seria a de um pêndulo simples, oscilando fixamente num plano inercial, onde sua base estaria efetuando um movimento circular uniforme.

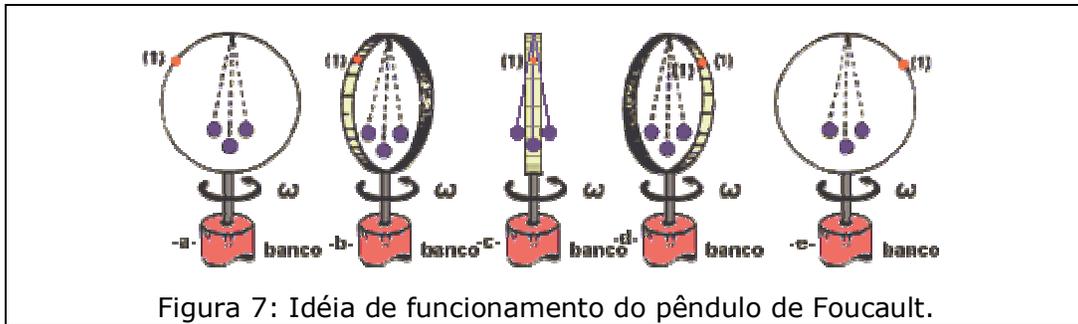


Figura 7: Idéia de funcionamento do pêndulo de Foucault.

Assim sendo, quando o mesmo foi montado pela primeira vez na França, foi observado um deslocamento contínuo do plano de oscilação do pêndulo em relação à superfície da Terra. Isto indicou o movimento de rotação da Terra, no sentido contrário à este movimento.

Mostra-se que a velocidade angular Ω do plano de oscilação do pêndulo em relação à superfície da Terra é dada por (ver [3]): $\Omega = \omega \sin \alpha$. Aqui ω é a velocidade angular da Terra em relação a um referencial inercial e α é a latitude do local onde está o pêndulo ($\alpha = 0^\circ$ no Equador, $\alpha = 23^\circ$ S em Campinas, $\alpha = 48^\circ 51'$ N em Paris e $\alpha = \pm 90^\circ$ nos pólos).

No caso do banco de rotações, a plataforma girante representaria a Terra girando no espaço, enquanto que o pêndulo mantém fixo no espaço seu plano de oscilação. Ou seja, ele não acompanha a rotação do banco de rotações. Logo, se alguém estivesse sobre o banco de rotações veria o plano de oscilação do pêndulo girando em relação ao banco, como observado por Foucault em sua experiência.

O pêndulo de Foucault foi construído utilizando-se de uma semi-presilha de tubulação, de diâmetro 14 cm. Em sua parte superior foi acoplado com durepoxi, um girador de pesca em contato com uma linha que segurava outro girador com um peso, funcionando assim como um pêndulo que gira livremente em seu plano de rotação, independente de seu ponto de suporte, como podemos ver pela Figura 8 logo abaixo.

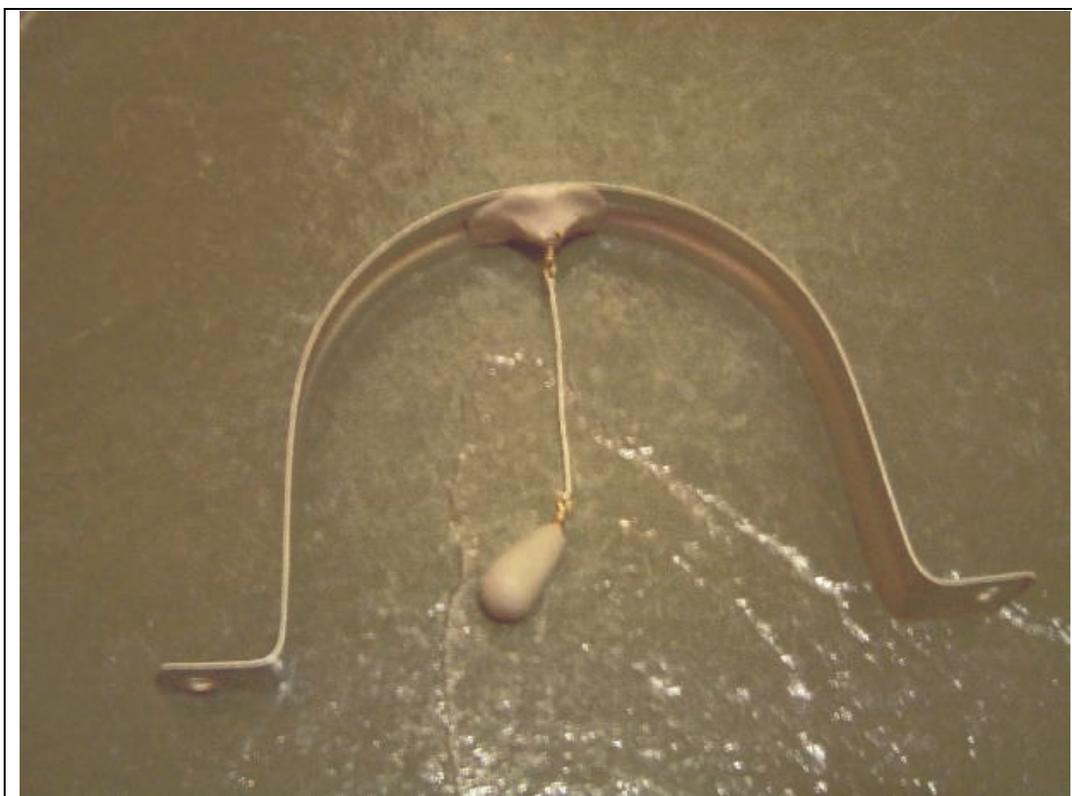


Figura 8: Foto da montagem para o experimento de Foucault.

- Disco de Newton

O disco de Newton é uma das montagens mais simples deste projeto. Ele está descrito na Figura 9. Com ele pode-se ilustrar que a luz branca é composta por uma mistura das outras cores do espectro. Vamos usar um disco com cores representando o arco-íris.

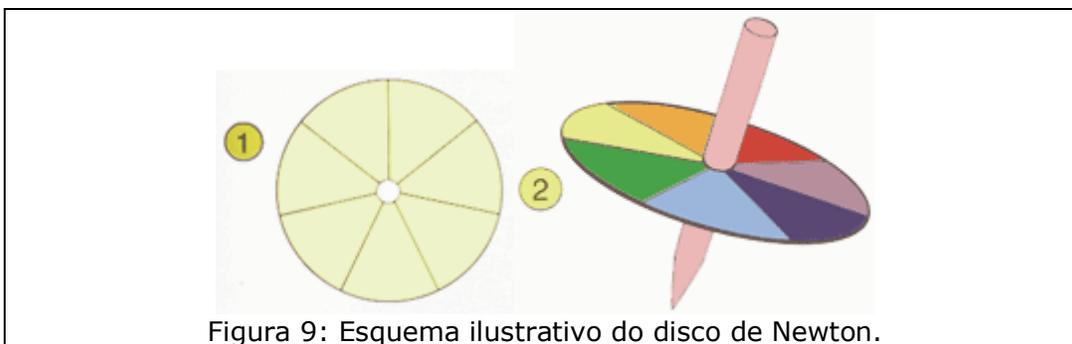


Figura 9: Esquema ilustrativo do disco de Newton.

A demonstração da descoberta de Newton se faz pela simples rotação do disco 2 indicado pela Figura 9, em torno de seu eixo, utilizando-se o banco de rotações.

Nossa montagem deste experimento foi feita imprimindo em uma impressora colorida, uma imagem análoga à mostrada pela Figura 10. Em seguida foi feito uma capa protetora plástica utilizando-se de papel contact.

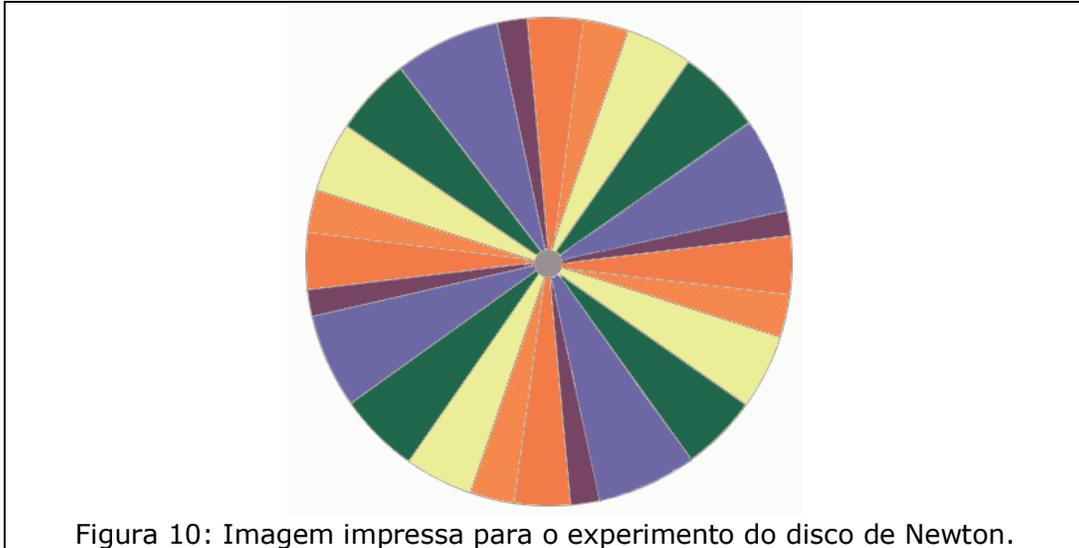


Figura 10: Imagem impressa para o experimento do disco de Newton.

É óbvio que, para a impressão, foi feita uma ampliação desta imagem.

- **Chama da vela**

Neste experimento colocamos uma vela acesa ao longo de um raio de um disco, fora do centro. Quando giramos o disco ao redor do seu eixo de simetria observa-se que a chama da vela tende para o eixo de rotação.

O fato mais interessante deste experimento é sua fácil visualização e fácil explicação. A base matemática para a explicação deste acontecimento é similar ao balde de Newton. Em uma mistura de fluidos em contato e em rotação, o fluido com maior densidade (o ar frio neste caso) tende para um raio maior no movimento deslocando assim o fluido de menor densidade (o ar quente e a chama da vela) para o centro, como podemos observar pelo esquema na Figura 11, [1].

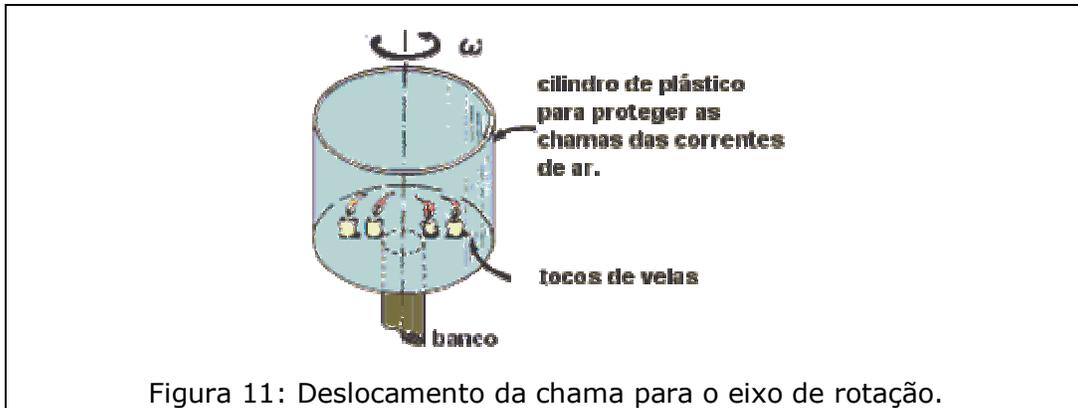


Figura 11: Deslocamento da chama para o eixo de rotação.

Nossa montagem deste experimento está um pouco diferente do ilustrado pela Figura 11, porém se encontra em pleno funcionamento, inclusive possibilitando uma boa visualização do fenômeno.

A imagem da montagem adaptada está mostrada na Figura 12 sendo que foi preciso a utilização de uma tampa para não apagar a chama da vela.



Figura 12: Montagem para o experimento das velas.

Pelo fato da vasilha ser transparente, isso não afetou sua visualização já que o balde foi tampado e o fenômeno pode ser visto pelas laterais.

Acima então estão apresentados os experimentos realizados com o banco de rotações.

OUTRAS POSSIBILIDADES

Utilizando o mesmo banco de rotações temos ainda muitas outras possibilidades de montagem de experimentos, [1]. Não entraremos em detalhes sobre elas neste relatório, limitando-nos apenas a suas indicações:

- Líquido em rotação (espelho parabólico).
- Força elástica como resultante centrípeta.
- Tacômetro de esferas.
- Vasos comunicantes em rotação.
- Compressor hidrodinâmico.
- Força de Coriolis.
- Achatamento da Terra.
- Determinação de g na rotação, etc.

Como mencionado anteriormente, estes e outros experimentos podem ser montados fazendo os acoplamentos necessários utilizando nosso banco de rotações, tornando assim o banco de rotações uma possibilidade de extensão para outros projetos de Instrumentação para o Ensino.

CONCLUSÕES

Pode ser percebido com a montagem do banco de rotações que o mesmo se apresenta como uma ferramenta poderosa em didática para física do ensino médio, uma vez que as evidências são claras quanto a defasagem do aprendizado experimental nesta fase. Por mais restritos que possam ser considerados os temas tratados com este aparato – por tratar de problemas que envolvam a força centrípeta – ele se demonstra de enorme importância, uma vez que foi possível com um único aparelho desenvolver uma série de experimentos de importância histórica em Física e envolvendo a mecânica, a óptica e a termodinâmica.

INFORMAÇÕES TÉCNICAS

Enumeramos e descrevemos anteriormente os equipamentos utilizados para a montagem do aparato. Ressaltamos aqui então o custo do mesmo de aproximadamente R\$ 200,00. A única fonte financiadora foi particular em nosso caso.

Não poderia passar sem citar que, para a montagem deste aparato, a ajuda de um marceneiro foi talvez a de maior importância, sendo que, sem o mesmo com certeza não haveria essa montagem.

REFERÊNCIAS

[1] Homepage de Luiz Ferraz Netto, acessada em novembro de 2004 (em especial a Sala 5, Dinâmica, item D11 – força centrípeta):

<http://www.feiradeciencias.com.br/>

[2] Eduardo de Campos Valadares, Física Mais que Divertida (Editora da UFMG, Belo Horizonte, 2002). Ver ainda a homepage, acessada em novembro de 2004:

<http://www.fisica.ufmg.br/~divertid/>

[3] K. R. Symon, Mecânica (Editora Campus, Rio de Janeiro, 5ª edição, 1982). Tradução de G. B. Batista.