

# RELATÓRIO FINAL - VERSÃO 2

**F 609 – Tópicos de Ensino de Física I**

**Aluno: Hélio Henrique Tachinardi**  
**E-mail: helio.tachinardi x gmail.com**



**Orientador: Prof. Dr. Mauro Monteiro Garcia de Carvalho**  
**E-mail: mauro x ifi.unicamp.br**

**Data de realização: 13/06/2013**

**Campinas / SP**  
**2013**

# ACELERADOR DE "PARTÍCULAS" UTILIZANDO BOBINAS

**F 609 – Tópicos de Ensino de Física**  
**Prof. Dr. José J. Lunazzi**

Nome: Hélio Henrique Tachinardi                      RA: 081595  
E-mail: helio.tachinardi x gmail.com  
Orientador: Prof. Dr. Mauro Monteiro Garcia de Carvalho  
E-mail orientador: mauro x ifi.unicamp.br  
Data de realização: 13/06/2013

Campinas / SP  
2013



UNICAMP



## AGRADECIMENTOS

Ao professor orientador Mauro pela colaboração, paciência, ideias e grande ajuda durante todo o semestre letivo, bem como pelo espaço físico cedido no Laboratório de Instrumentalização para o Ensino de Física (LIEF) e o empréstimo de ferramentas e materiais necessários.

Aos bolsistas do LIEF pelo atendimento, dedicação, ajuda e contribuição, em especial ao Lucas.

Aos amigos, familiares e funcionários do IFGW pelo apoio, troca de ideias e sugestões durante a realização do projeto.



## ÍNDICE

1. Resultados atingidos	5
2. Fotos da experiência	6
3. Dificuldades encontradas	14
4. Pesquisa realizada	18
5. Descrição do trabalho	19
5.1. Aceleração centrípeta	19
5.2. Velocidade angular	19
5.3. Período e frequência	20
5.4. Física moderna	20
5.5. Eletromagnetismo	20
6. Declaração do orientador	21
7. Horário de apresentação	22



## 1. RESULTADOS ATINGIDOS

Conseguiu-se um sistema de acionamento das bobinas através de uma caneleta com duas partes metálicas e a esfera de aço fazendo o contato entre estas partes. Finalmente a esfera está acelerando depois de vários ajustes realizados ao longo do semestre. Infelizmente ela para com o tempo, pois está perdendo energia em forma de atrito com a mangueira plástica e com a caneleta, mas principalmente nas entradas e saídas da caneleta.

Estas junções com a caneleta foram modificadas diversas vezes com o objetivo de otimizar a passagem da esfera, mas ainda assim não é perfeito. Além disso, algumas vezes no impulso inicial a bobina não está conseguindo acelerar a esfera o suficiente para que esta chegue até a próxima bobina.



UNICAMP

## 2. FOTOS DA EXPERIÊNCIA



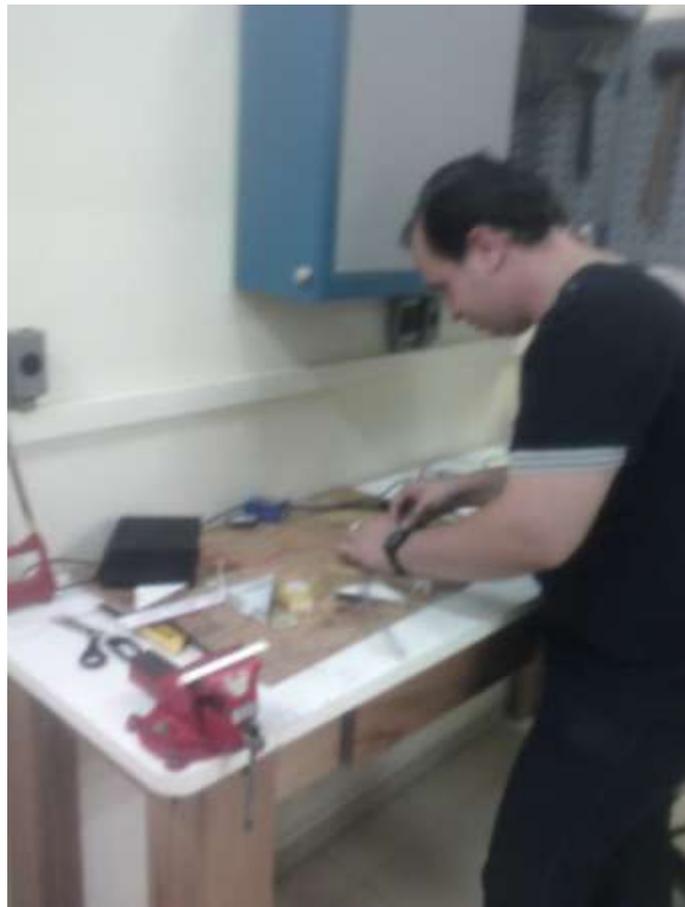
**Figura 1.** Montando um esquema de teste.



**Figura 2.** Construindo o esquema de teste.



**Figura 3.** Teste básico realizado.



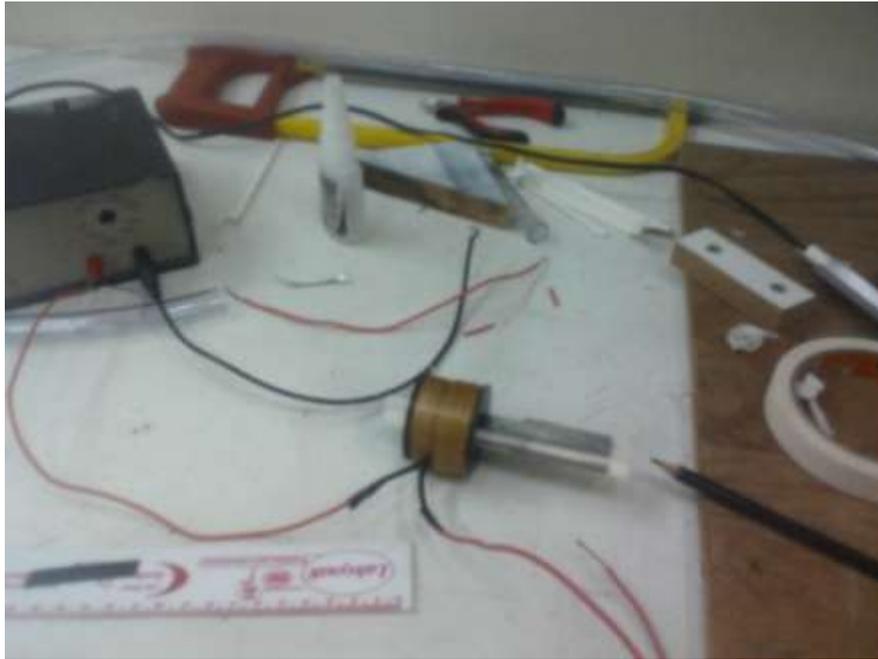
**Figura 4.** Montando o esquema experimental.



**Figura 5.** Esquema de teste utilizando caneleta com papel alumínio.



**Figura 6.** Esquema de teste utilizando caneleta com fio de cobre.



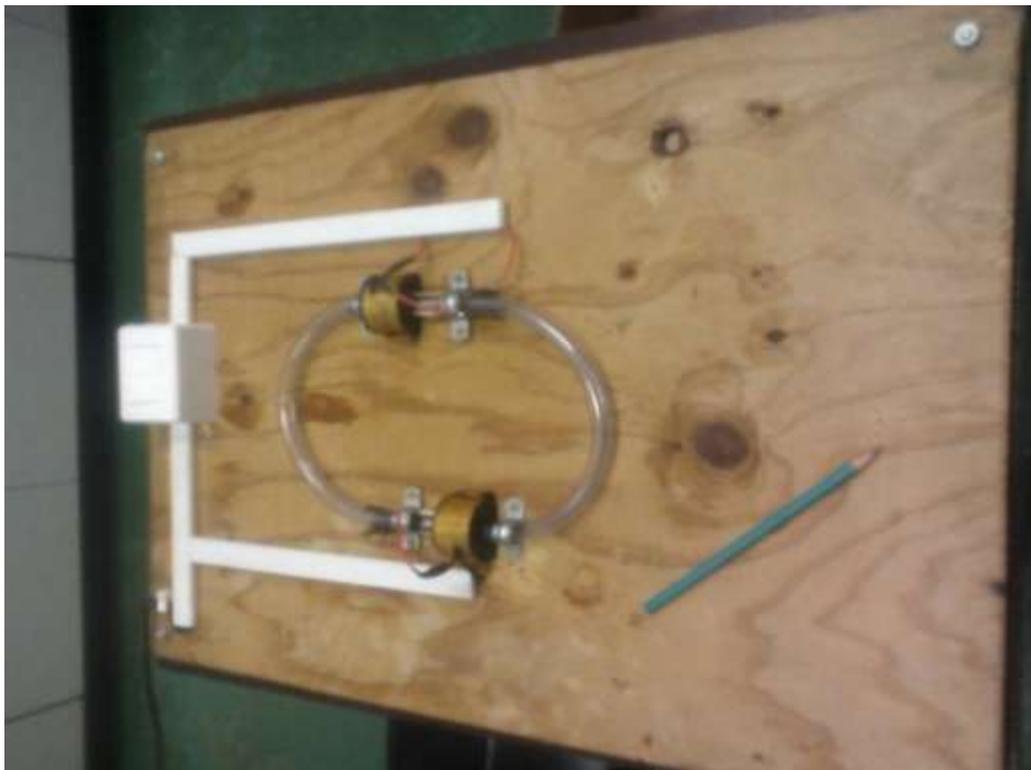
**Figura 7.** Esquema de teste utilizando caneta com placa de metal.



**Figura 8.** Esquema atual utilizando caneta com placa de cobre e apoio para mangueira.



**Figura 9.** Esquema utilizando interruptores.



**Figura 10.** Esquema com o nível da mangueira na madeira.



**Figura 11.** Esquema com o nível da mangueira na madeira.



**Figura 12.** Esquema com o nível da mangueira na madeira.



**Figura 13.** Construção de novas caneleiras.



**Figura 14.** Nova lâmina de metal encontrada.



**Figura 15.** Comparação da caneleta pequena.

Segue um vídeo em anexo.

### 3. DIFICULDADES ENCONTRADAS

No primeiro momento o experimento seria montado sem nenhuma referência, já que até então não se havia encontrado na internet. Sendo assim dedicou-se o tempo na elaboração de um circuito controlador do sistema, sem sucesso.

Em seguida encontrou-se um vídeo e um manual de um experimento idêntico ao proposto no projeto (seguem os links no item 5). A principal diferença dos dois projetos estava no material que a esfera de aço iria percorrer: vidro no original e mangueira plástica flexível na referência. Sendo assim, optou-se em seguir o projeto referencial, mas após análise e estudo deste, verificou-se que seria inviável a realização de um projeto igual ao da referência, devido à complexidade do circuito e o custo.

Sendo assim, optou-se por tentar construir um circuito com um foto-sensor de maneira mais simples, mas isto não é trivial. No circuito utilizado a esfera metálica não era detectada quando estava em alta velocidade e seriam necessárias novas adaptações.

Em seguida, tentou-se usar uma chave micro switch para controlar a bobina, mas nos testes foi verificado que a esfera não tem massa suficiente para ativar a alavanca da chave, além disso, o eletroímã está aquecendo muito e derreteu a mangueira plástica.

Uma das soluções encontradas foi a ideia de utilizar na entrada e saída da bobina uma caneleta plástica, sendo que na entrada do eletroímã haverá uma ponte metálica que será acionada por contato pela esfera, acionando a bobina e gerando o campo magnético.

Com a definição da caneleta, o desafio era produzi-la num circuito em que a esfera não tivesse obstáculos para passar, como por exemplo a junção da mangueira com a caneleta, e além disso, a parte metálica da caneleta não poderia atrapalhar o movimento, ou seja, deveria ser fina, mas também firme.

A primeira tentativa foi usar papel alumínio na parte metálica, mas o papel se desfaz com o tempo. Em seguida tentou-se utilizar uma lâmina de metal encontrado, mas a quantidade se tornou inviável, faltava metal para confecção de nova caneleta. Por fim, encontrou-se uma lâmina perfurada de cobre em boa quantidade, a qual está sendo utilizada atualmente.

Num segundo momento tentou-se otimizar as saídas e entradas da caneleta. Encontrou-se pedaços de madeira para calçar a mangueira, apoiando-a e deixando-a no mesmo nível da bobina. Infelizmente o acelerador não funcionou desta maneira, sendo assim, o experimento foi refeito, desta vez sem o calço de madeira na mangueira e sim abaixando a bobina no nível dela através de uma perfuração na placa de apoio do sistema.

Com estes problemas resolvidos, precisava-se levantar o suporte de apoio do circuito, já que a bobina tinha uma profundidade maior. Primeiramente utilizou-se pezinhos de madeira na placa, mas o sistema exige um bom nivelamento, então trocou-se os pezinhos de madeira improvisados por pezinhos de parafuso com borracha.

Por fim houve um problema de ajuste nas junções da mangueira com a caneleta, o que foi resolvido com abraçadeiras tanto na mangueira quanto na caneleta. Com tudo pronto o desafio era o funcionamento do projeto, mas para isso alterou-se o comprimento da mangueira várias vezes, primeiramente um maior onde a esfera não tinha força para vencê-la, em seguida um bem menor, onde a esfera ficava presa, até que encontrou-se o comprimento ideal.

Finalmente com o experimento funcionando precisava ser feito o acabamento dos fios, que foram cobertos com caneleta, e um interruptor de controle das bobinas. Tentou-se ligar as duas bobinas num mesmo interruptor, mas não funcionou já que o funcionamento delas se tornou dependente um do outro, ou seja, a bobina um só funcionava quando a bobina dois estava ligada e vice e versa. Em virtude disso, colocou-se um duplo interruptor, um para cada bobina, deixando-as independentes uma da outra.

Atualmente a esfera está acelerando depois de vários ajustes realizados ao longo do semestre. Infelizmente ela para com o tempo, pois está perdendo energia em forma de atrito com a mangueira plástica e com a caneleta, mas principalmente nas entradas e saídas da caneleta. Estas junções com a caneleta foram modificadas diversas vezes com o objetivo de otimizar a passagem da esfera, mas ainda assim não é perfeito. Além disso, algumas vezes no impulso inicial a bobina não está conseguindo acelerar a esfera o suficiente para que esta chegue até a próxima bobina.

Durante a apresentação do experimento ocorreu um problema em uma das bobinas, ela superaqueceu e ficou comprometida, não dando mais impulso suficiente. Após a apresentação, dedicou-se tempo na melhoria do sistema, na troca da bobina e na possibilidade de construção de um sistema com o dobro de eletroímãs.

O sistema foi melhorado, as conexões da mangueira com a caneleta estão praticamente perfeitas, ou melhor dizendo, estão bem otimizadas. Foi necessário “raspar” a placa de apoio do sistema para colocar a caneleta, sendo que uma delas acabou ficando abaixo do ponto correto, o que foi solucionado adicionando ao vinco formado na madeira uma camada de uma pasta de sabão. Esta pasta conseguiu dar firmeza e estabilidade à caneleta, mas antes tentou-se adicionar lascas de madeira fixadas com cola especial para madeira, mas não obteve-se resultado com isso.

A bobina que apresentou problema foi substituída e tentou-se ampliar o número de eletroímãs, mas não foi possível. Ao todo possuía-se 4 bobinas, mas uma foi danificada, sendo assim restaram apenas 3. A construção de um sistema com 3 bobinas formando um círculo não foi fácil, pois não conseguiu-se boa otimização na passagem da esfera durante as saídas e entradas na mangueira e a placa metálica para construção de novas canaletas acabou se danificando durante a colagem. Sendo assim este esquema acabou não saindo de protótipos e testes iniciais. A ideia nova então era de adquirir mais uma bobina, mas não foi encontrada nenhuma em casas de componentes eletrônicos, mas mesmo que encontrada ainda assim ter-se-ia o problema da confecção das canaletas.

A colagem do metal na parte plástica também não foi simples, utilizou-se cola especial (Super Bonder®). A canaleta plástica foi lixada, em seguida foi feita a colagem e esperou-se a secagem, o excesso de cola atrapalha a passagem da esfera e sendo assim a canaleta foi lixada novamente para a remoção dele. Durante o segundo lixamento a parte metálica descolava e às vezes quebrava, mas conseguiu-se a confecção de duas canaletas.

Por fim, após vários problemas, desmontou-se todo o experimento para em seguida refazê-lo. Nisto, partindo do princípio que estava tudo perdido, foram feitas mudanças drásticas.

Mudança na canaleta. Ela passava por dentro da bobina (metade com a placa metálica e metade sem a placa) e após ela até chegar à mangueira. Ela foi cortada após o término da parte metálica na esperança de influenciar o menos possível no campo magnético contrário ao movimento da esfera, já que se está trabalhando com corrente alternada.

Mudança na bobina. Com a etapa descrita acima realizada, a bobina ficou num nível abaixo do desejado em relação ao restante do sistema, sendo assim foi feito uma espécie de cunha de madeira para segurá-la e não ocorrer problemas na passagem da esfera.

Mudança na mangueira. O comprimento da parte metálica da canaleta pareceu ser maior que o necessário, já que a esfera só ganhava “impulso” muito próximo à bobina, sendo assim, o restante estava fazendo com que a esfera perdesse energia através do atrito. Como não se pode cortar a parte metálica, pois o risco de quebra do material é muito grande e não há mais placa metálica disponível, a mangueira foi colocada em cima da canaleta. Isso obviamente faz com que a esfera tenha que passar por uma pequena elevação, o que não é ideal devida à força gravitacional, mas mesmo assim o resultado obtido é melhor do que o anterior, ou seja, verificou-se que é melhor “enfrentar” a força gravitacional do que a força de atrito.

Após essas mudanças a esfera passou a dar uma volta e depois parava. Sendo assim, resolveu-se arriscar e cortar a canaleta, acertando o nível e eliminando o problema da força gravitacional. A canaleta ficou pequena, como mostra a figura 15, mas o resultado não melhorou.

Sendo assim, necessitava-se voltar ao comprimento original, mas o material metálico havia acabado. Tentou-se encontrar mais metal em ferro-velho, sem êxito, mas devido à sorte, consegui um bom pedaço metálico num laboratório do Instituto de Química, e melhor, ele não é perfurado como o antigo e é mais liso, o que deve diminuir a perda de energia por atrito.

Com isso, as novas canaletas com material mais liso foram confeccionadas. Foi reajustado o nível das entradas e saídas das mangueiras e testado novamente. Um problema do novo metal usado é que ele não cola na caneleta, para ser fixado ele foi dobrado em volta da caneleta o mais esticado possível.

Algumas vezes a bobina liberava a esfera com muita força e quando ela chegava à caneleta acabava saindo do circuito, sendo assim, colocou-se um pequeno calço no meio da mangueira para elevá-la um pouco. Primeiramente usou-se um parafuso como calço, mas depois este foi substituído por pedaços da própria mangueira.

Finalmente o experimento está funcionando, mas tem algumas ressalvas. Primeiramente ele funciona melhor após algumas tentativas, provavelmente porque as bobinas ficam mais aquecidas. Além disso a esfera para com o tempo, com a bobina aquecida ela para após cerca de 10 a 12 voltas, e sem a bobina aquecer, logo que liga, ela para entre uma e 3 voltas.

Pôde-se aprender muito com este experimento. Todo o desenvolvimento no decorrer do semestre foi de grande valia para o aprendizado e afinal não era um experimento simples. Fica como sugestão de melhoria o abandono do sistema de canaletas por outro que também permita o controle do campo magnético para que este não freie a esfera.

#### 4. PESQUISA REALIZADA

Foi encontrado vídeo e manual na internet após a pesquisa no site YouTube (<http://www.youtube.com/?gl=BR&hl=pt>) com as palavras-chave "acelerador de partículas". Até o momento este foi o único relato encontrado de um experimento idêntico ao do projeto. Os links do vídeo e do manual seguem abaixo:

- Vídeo: <http://www.youtube.com/watch?v=qOsgRPhlVB8> (acessado pela última vez em 08/05/2013).
- Manual: [http://www.celesti.nixiweb.com/acelerador\\_particulas/index.html](http://www.celesti.nixiweb.com/acelerador_particulas/index.html) (acessado pela última vez em 08/05/2013).

Este é um projeto em língua espanhola realizado por Pujol e Capell com o título "Acelerador de partículas: Maqueta educativa" e apresenta introdução, finalidade, contexto, fundamentos teóricos, eletrônica, construção e conclusão. Mesmo sendo descartado seguir o manual encontrado, este foi de muita valia para um entendimento melhor e para um ponto de partida no projeto. O manual e vídeo seguem como anexos.

## 5. DESCRIÇÃO DO TRABALHO

A ideia básica deste projeto é acelerar uma esfera de aço através de um campo magnético originado por um par de bobinas.

Para cumprir este objetivo será montado o seguinte esquema. Em uma placa de madeira será fixado um cano circular de plástico (mangueira transparente flexível). Em duas partes opostas do círculo, será colocada uma bobina ligada a um circuito eletrônico, que será acionada por um sistema de chaveamento para gerar o campo magnético que atrairá a esfera de aço. Este chaveamento será acionado pela própria esfera que irá fazer o contato em uma ponte metálica, acionando a bobina.

A ponte metálica será feita em uma caneleta plástica, onde uma película metálica, neste caso papel alumínio, será fixada, mas com um pequeno espaço no meio da película. Este espaço será preenchido pela esfera de aço, que sendo assim, fará o contato da ponte metálica, acionado a bobina e gerando o campo magnético.

Com este esquema, a esfera de aço será atraída pela bobina, mas ao chegar perto desta a ponte será desfeita para que a bobina não freie a esfera. Utilizando duas bobinas em lados opostos, pretende-se acelerar a esfera constantemente.

Através deste projeto pode-se trabalhar didaticamente alguns conceitos simples, mas de grande importância na física, como aceleração centrípeta, velocidade angular, período e frequência, física moderna e eletromagnetismo.

### 5.1. Aceleração centrípeta

Quando algum objeto se desloca num movimento circular ele sofrerá dois tipos de aceleração: centrípeta e tangencial. A aceleração tangencial é tangente à trajetória enquanto a aceleração centrípeta é orientada em direção ao centro da curvatura.

A aceleração centrípeta é ocasionada por uma força centrípeta que altera a direção do corpo possibilitando que este percorra a trajetória curvilínea. O módulo da aceleração centrípeta  $a_c$  pode ser calculado pela segunda lei de Newton:

$$(1) a_c = \frac{v^2}{R}$$

onde  $v$  é o módulo da velocidade e  $R$  é o raio da curvatura. Sua unidade no Sistema Internacional (SI) é o metro por segundo ao quadrado ( $m/s^2$ ).

### 5.2. Velocidade angular

Este tipo de velocidade também ocorre num movimento circular e representa o deslocamento angular no tempo. Seu módulo,  $\omega$ , pode ser calculado pela equação:

$$(2) \omega = \frac{d\theta}{dt}$$

onde  $d\theta$  é o deslocamento angular e  $dt$  é a variação do tempo durante este deslocamento. Sua unidade no SI é o radiano por segundo (rad/s).

### 5.3. Período e frequência

Período é o tempo decorrido durante uma oscilação e frequência é o número de ocorrências de um evento neste intervalo de tempo, logo as duas grandezas estão relacionadas de acordo com a equação abaixo:

$$(3) f = \frac{1}{T}$$

onde  $f$  é a frequência, dada em Hertz (Hz), e  $T$  é o período, dado em segundos (s).

### 5.4. Física moderna

Um dos principais propósitos deste projeto é divulgar como funcionam os aceleradores de partículas relacionando-o ao Grande Colisor de Hádrons (LHC, na sigla em inglês), o maior experimento científico da humanidade. Sabe-se que o princípio de aceleração neste projeto e no LHC são diferentes, enquanto este projeto utiliza um campo eletromagnético criado pelas bobinas, o LHC produz um campo elétrico e possui bobinas gigantes apenas para forçar a trajetória das partículas.

### 5.5. Eletromagnetismo

Através de um eletroímã pode-se obter um campo magnético conectando-o à corrente elétrica. Um objeto, neste caso a esfera metálica, fica sujeita a uma força magnética, e por isso pode-se obter uma aceleração, devido à segunda lei de Newton.



## 6. DECLARAÇÃO DO ORIENTADOR

Meu orientador pretende compor o acervo do Laboratório de Instrumentação para o Ensino de Física (LIEF) com este projeto. Ele também concorda com o expressado neste relatório final e deu a seguinte opinião:

*O aluno realizou uma experiência que gerou muitos contratempos. Conseguiu dar um termo ao trabalho depois de muitas tentativas para que tudo funcionasse a contento e, embora seu objetivo não tenha sido totalmente alcançado, aprendeu bastante e criou um dispositivo que poderá ser aperfeiçoado num futuro próximo.*



UNICAMP

## 7. HORÁRIO DE APRESENTAÇÃO

Dia 13 de junho de 2013 às 17h30.

