

Licenciatura em Física
Instituto de Física
UFRJ

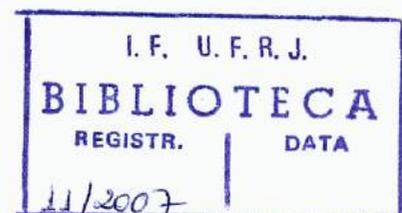


PROJETO DE INSTRUMENTAÇÃO DE FINAL DE CURSO

OSCILADOR MASSA-MOLA E PÊNDULO SIMPLES NO ENSINO MÉDIO

Aluno: Leonardo Sampaio Motta
Orientador: Prof. Adir Moysés Luiz

JULHO DE 2007



Resumo

Os movimentos periódicos estão bastantes presentes em nossa vida diária. Para citar alguns exemplos, temos: O movimento de rotação da terra em torno do próprio eixo, com período aproximado de 24h, movimento associado aos dias e as noites. O movimento de translação da Terra em torno do Sol, com período de aproximadamente 365 dias. Temos também na escala astronômica o movimento de rotação da Lua em torno da terra, com período aproximado de 28 dias, movimento esse associado às fases da lua.

No caso, o presente trabalho trata de dois casos particulares de movimentos periódicos, o pêndulo simples e o oscilador massa-mola.

Nos primeiros capítulos desta monografia, são discutidos os objetivos gerais para a educação e para as atividades experimentais. Em seguida é apresentado um texto teórico a respeito de movimentos periódicos, enfocando basicamente o pêndulo simples e o oscilador massa-mola, sendo também feita uma breve introdução aos conceitos de massa inercial e massa gravitacional.

Faremos também uma proposta de uma aula experimental não tradicional, onde serão apresentados o material utilizado nas experiências, os questionários de conhecimentos prévios, assim como os gráficos referentes às respostas, juntamente com a análise das mesmas.

Agradecimentos.

Gostaria de agradecer primeiramente aos meus pais: **Maria Alice** e **João Tertuliano**, por me proporcionarem condições de estudo. Agradeço também a minha namorada **Mariana Carvalho** pelo apoio, amor, e carinho, ao logo desses últimos anos, além de ajudar na formatação da monografia, e da preparação da apresentação.

Os meus agradecimentos ao meu orientador **Prof Adir Moisés**, assim como aos demais professores que contribuíram direta ou indiretamente para minha formação acadêmica. Cabe aqui ressaltar os professores (as): Ligia, Wilma, Artur, Marcos Gaspar, **André Penna**, e **Francisco Cordeiro**.

Venho lembrar também dos professores **Cândido** e Beto (fininho), que muito bem me acolheram no estágio supervisionado.

Agradeço também aos colegas de trabalho e faculdade, que também muito contribuíram para a minha formação, agradeço em especial ao Prof Gil Máx pela colaboração em disponibilizar o pré-vestibular comunitário Santo André, para que pudesse ser realizado o trabalho presente.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 1

2 MATERIAIS E MÉTODOS 3

2.1 Metodologia 3

2.1.1 Objetivos para a escola e para a educação 3

2.1.2 Fundamentação pedagógica 6

2.1.3 As atividades prático-experimentais 10

2.1.4 Atividades a serem desenvolvidas em sala de aula 14

2.1.5 Questionário de conhecimentos prévios 15

2.1.5.1 Gráficos referentes aos questionários de conhecimentos prévios 17

2.1.5.2 Análise das respostas 20

2.2 Materiais 22

2.2.1 Pêndulo simples 22

2.2.2 Oscilador massa-mola vertical 23

3. CONCEITOS FÍSICOS, BASE EXPERIMENTAL E FENOMENOLÓGICA 24

3.1 Oscilações 24

3.2 Movimento Harmônico simples (MHS) 26

3.3 Oscilador massa-mola 32

3.4 Pêndulo simples 34

4. ANÁLISE E RESULTADOS 38

4.1 Desenvolvimentos das atividades em sala 38

4.1.1 Pêndulo simples 38

4.1.2 Oscilador massa-mola 39

4.2 Massa inercial - massa gravitacional, uma introdução 40

5. CONCLUSÃO 43

REFERÊNCIAS 44

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, fala-se da introdução de física moderna nos conteúdos do ensino médio. Nota-se que princípios básicos de física moderna já são lecionados em diversas regiões do Brasil, e mesmo cobrados em diversos vestibulares, tendo como alguns exemplos: ITA, FUVEST, UFG, UFCE, UFRGS, dentre outras.

Alguns dos principais livros textos utilizados em nossas escolas já se adaptam à nova tendência, porém, nota-se a ausência da discussão a respeito dos conceitos de massas inercial e gravitacional, fundamental para uma introdução ao princípio de equivalência, e à teoria da relatividade geral.

Este trabalho é uma proposta para realização de uma aula experimental não tradicional, envolvendo o pêndulo simples e o oscilador massa-mola, na qual a observação da dependência qualitativa do período com relação à massa é utilizada para a introdução e discussão dos conceitos de massas inercial e gravitacional. O público alvo são os alunos de licenciatura/professores de física.

É seguida a linha preconizada para o ensino médio expressa na lei de diretrizes e bases da educação [1], e ainda, nos Parâmetros Curriculares Nacionais [2]. Tendo como base uma teoria construtivista da aprendizagem.

Com relação aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o ensino médio (PCN-EM), poderíamos dizer que, o conteúdo do trabalho refere-se ao tema estruturador Movimentos variação e conservação, envolvendo no caso, as subunidades didáticas: Fenomenologia cotidiana, variação e conservação da quantidade de movimento, e ainda equilíbrio e desequilíbrio.

Depois desta breve introdução indicando os objetivos desta monografia, faremos no capítulo 2 uma discussão dos objetivos: para a escola, educação, e para as atividades experimentais, juntamente com a fundamentação pedagógica. É apresentado também o material utilizado nas experiências, os questionários de conhecimentos prévios, assim como os gráficos referentes às respostas, e ainda a análise das mesmas. No capítulo 3 é desenvolvida a parte teórica a respeito dos fenômenos periódicos, do pêndulo simples, do oscilador massa-mola, do conceito de

massa inercial e gravitacional. O capítulo 4 trata das atividades desenvolvidas em sala. Finalmente no capítulo 5 são feitas as conclusões referentes ao nosso trabalho.

CAPÍTULO 2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Metodologia

2.1.1. Objetivos para a escola e para a educação

A função da escola, já não é mais a modelagem do comportamento aos papéis sociais prescritos, e ao acervo de conhecimentos acumulados. O objetivo da educação básica é dar ao educando uma idéia integrada da vida, e das relações dos seres vivos entre si e com a natureza. A escola passa a ter a função de construir uma nova relação humana, revendo criticamente o acervo de conhecimentos acumulado e tomando consciência da participação pessoal na definição de papéis sociais; a escola passa a ser um local de construção coletiva e não somente de transmissão de conhecimentos. Há diversas razões que justificam esse novo rumo, dentre elas: Hoje vivemos numa sociedade em rápida transformação, em que o mercado exige pessoas criativas, críticas, questionadoras, comprometidas com mudanças, e não somente com reproduções de modelos pré-existentes.

Para que esse novo papel social da educação se cumpra, características como autonomia e a gestão democrática, passam a ser exigências do seu projeto político-pedagógico, uma vez que, fazem parte da própria natureza do ato pedagógico. A gestão democrática da escola é justificada por pelo menos duas razões: a primeira é que o aprendizado da democracia é um elemento fundamental para uma formação cidadã. A segunda é que a gestão democrática pode vir a melhorar de forma substancial o processo de ensino-aprendizagem, devido a um maior conhecimento do funcionamento da instituição, e de um contato permanente entre professores e estudantes, o que leva a uma aproximação das necessidades reais dos educandos e dos conteúdos ensinados.

“Isso se reflete na própria maneira de tratar o aluno, incluindo aí os comportamentos que devem ser estimulados, como: A auto -valorização (reconhecimento da própria dignidade); a auto- expressão (livre, crítica, criativa, consciente); co-responsabilidade (iniciativa, participação, colaboração); a curiosidade e a autonomia na construção do conhecimento (estabelecendo rede de significação interdisciplinar)” [3].

Segundo a nova lei de diretrizes e bases da educação [1], o ensino médio deve ser a etapa conclusiva da educação básica, cujo foco principal é o desenvolvimento de habilidades e competências voltadas para o pleno exercício da cidadania, e fornece-lhe meios para progredir no trabalho e em estudos posteriores, como expresso em seu artigo 22. Porém, sem pretender ser profissionalizante, ou simplesmente preparatória para o ensino superior. Em seus artigos 35 e 36, a mesma estabelece como formação a ser desenvolvida; a promoção da compreensão dos fundamentos científicos- tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática de cada disciplina, o desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico, a compreensão do significado da ciência e do processo histórico de transformação da sociedade e da cultura, além do conhecimento das formas contemporâneas de linguagem. É destacada também, a adoção de metodologias de ensino e avaliação que estimulem a iniciativa dos estudantes.

Para a orientação da implantação da LDB, foram lançados os Parâmetros Curriculares Nacionais [2], documentos estes na forma de diretrizes e parâmetros, não possuindo os mesmos, força legal. Nestes documentos foi estabelecida uma organização do currículo em três grandes áreas: Ciências da natureza e matemática, Linguagens e códigos, e Ciências Humanas, sendo previsto um conhecimento articulado intra e inter áreas. Nos PCN+, lançados no final de 2002, essa articulação é favorecida pela consideração de três dimensões, a saber: Investigação e compreensão, representação e comunicação, e contextualização Sócio-Cultural. ”

“Essas interfaces não enfraquecem o sentido mais específico, próprio das ciências e da matemática, de investigação e compreensão de processos naturais e tecnológicos, mas, ao contrário, estabelecem melhor o contexto para os conhecimentos científicos e para as competências e habilidades a eles associadas”[4].

Referente à dimensão representação e comunicação são destacadas habilidades e competências como ler, interpretar, e construir corretamente tabelas, gráficos, esquemas e diagramas apresentados em textos, compreendendo que os mesmos são formas diferentes de representação de uma mesma relação, com potencialidades e limitações próprias.

Já na dimensão investigação e compreensão figuram habilidades e competências como o reconhecimento da relação entre diferentes grandezas, ou relações de causa-efeito, para ser capaz de estabelecer previsões, fazer uso de formas e instrumentos de medida, de modo a estabelecer comparações quantitativas, utilizando adequadamente escalas, para a elaboração de representações.

Quanto à terceira dimensão, há destaque da “compreensão da construção do conhecimento físico como um processo histórico, em estreita relação com as condições sociais, políticas e econômicas de uma determinada época”, juntamente com a compreensão do desenvolvimento histórico dos modelos físicos, e da tecnologia.

Habilidades e competências são desenvolvidas por meio de ações concretas, as quais se referem a conhecimentos, a temas de estudos. Temas estes que, articulando competências e conhecimentos, tornam-se elementos estruturadores da ação pedagógica, ou seja, temas estruturadores. A escolha destes temas está, fundamentada em aspectos como a natureza, a diversidade de campos, e relevância dos processos e fenômenos físicos.

Foram sugeridos seis temas estruturadores, dentre os quais: Movimentos: variações e conservações; Calor, ambiente e uso de energias; Som, imagem e informação; Equipamentos elétricos e telecomunicações; Matéria e radiação, e ainda Universo, terra e vida.

No caso, a mecânica passa a estar associada a competências que permitem dentre outras coisas, lidar com os movimentos de coisas que observamos, identificando suas causas.

Para a organização das atividades pedagógicas, foi sugerida a sistematização das atividades em três ou quatro unidades temáticas. No caso do

tema Movimento, variações e conservações, as unidades temáticas compreenderam; Fenomenologia cotidiana, Variação e conservação da quantidade de movimento, Energia e potência associada aos movimentos, e equilíbrios e desequilíbrios.

Dentro da fenomenologia cotidiana há a caracterização das variações de grandezas como distâncias, velocidades, massa, tempo etc. Fazendo estimativas, escolhendo equipamentos e procedimentos adequados para a realização de medidas, reconhecendo nas interações, as causas das modificações nos movimentos.

Referente à variação e conservação da quantidade de movimento, ou momento linear, são destacadas a identificação de forças ou torques para fazer análises, previsões e avaliações de situações cotidianas que envolvem movimento [2].

Já na unidade equilíbrios e desequilíbrios, é prevista a distinção de situações de equilíbrios (estático e dinâmico) daquelas de não equilíbrio, em fenômenos naturais, ou referentes a artefatos tecnológicos.

A explicitação e discussão de objetivos para a educação, necessariamente têm que vir acompanhada da fixação de estratégias para alcançá-los, como a definição de conteúdos; conteúdos esses, selecionados como vimos em função da lógica do ensino, tomando como referência o "para que ensinar", e não "o que ensinar de física" como tradicionalmente selecionados.

2.1.2. Fundamentação pedagógica

Atualmente muito se fala em construtivismo. Construtivismo significa a idéia de que nada a rigor está pronto, acabado, e que especificamente, o conhecimento não é dado em momento algum, em nenhuma instância, como algo terminado. Para os construtivistas, as estruturas do julgar e argumentar, e do pensar, resultam de um trabalho permanente de reflexão e remontagem das percepções que o indivíduo possui, interagindo com outras pessoas do meio social, e agindo sobre o mundo físico.

A pedagogia construtivista preconiza que o educando aprende melhor quando participa ativamente do próprio aprendizado, mediante experimentação, o estímulo a dúvida, entre outros procedimentos, sendo o educando o que poderia se chamar de co-piloto do próprio aprendizado. O ritmo das aulas é determinado pelos alunos, pois, é admitido que cada aluno tem o seu processo particular de aprendizagem. O construtivismo valoriza o intercâmbio e o trabalho em grupo, onde a posição docente é mais motivadora e menos impositiva. Essa metodologia de ensino favorece um contato mais intenso e prazeroso com o mundo do conhecimento, e proporciona a formação de pessoas mais inquisitivas, participativas e cooperativas, e com maior desembaraço na elaboração do próprio conhecimento.

Teóricos da psicologia cognitiva como Piaget, Vigotsky e Wallon, colocaram no século passado as suas teorias, que consideram como pontos principais que o conhecimento se estrutura através da ação, do pensamento, ou da linguagem do sujeito em sua interação com o real. Piaget mostra em seu estruturalismo genético, através de trabalhos empíricos, que as pessoas passam por estágios estáveis de estruturação do pensamento em crescente complexidade psicogenética.

Esse aspecto é reforçado por estudos recentes relacionados a Neurociências, os quais apontam a relevância de aspectos genéticos em atividades cerebrais relacionados à aprendizagem. Erick Kandel (Nobel de medicina, 2001), investigou os mecanismos moleculares subjacentes aos processos de aprendizagem e memória, verificando que o processo de transformação da memória de curto prazo em memória de longo prazo, requer a ativação de determinados genes, sendo que a memória de curto prazo modifica sinapses já existentes, já a memória de longo prazo envolve a criação de novas sinapses [5].

Segundo Piaget, entre um estágio e outro há um estágio intermediário, onde convivem em estágio de desequilíbrio, concepções do anterior e do posterior. Este mecanismo, denominado auto - regulação traduz-se por um processo constante de equilibração das estruturas cognitivas. Ocorre então, uma construção em sucessivos patamares, sendo cada um o resultado de uma assimilação ou operação nova, a qual preenche uma lacuna na organização anterior [3]. A aprendizagem dependendo logicamente do estágio de desenvolvimento atingido pelo educando, e

se dá a partir da ação do sujeito sobre a realidade, sendo o sujeito considerado ativo. Para Vigotsky, esse mesmo sujeito não é apenas ativo, mas interativo, porque constitui o conhecimento, e se constitui através das relações inter e intra - pessoais, indicando que o processo caminha do plano social, para o individual.

Segundo Vigotsky, a evolução intelectual é caracterizada por saltos qualitativos de um nível de conhecimento para outro. Para a explicação desse processo, o mesmo desenvolveu o conceito de zona de desenvolvimento proximal, que definiu como a "distância entre o nível do desenvolvimento real, que costuma ser determinado através da solução independente de problemas, e o nível de desenvolvimento potencial, determinado através da solução de problemas sob a orientação de um indivíduo mais capaz". Para esse teórico;

"O aprendizado adequadamente organizado resulta em desenvolvimento mental e põe em movimento vários processos de desenvolvimento mental que, de outra forma, seriam impossíveis de acontecer"[3].

Os objetivos anteriormente mencionados para a educação e para o ensino tiveram influência de pensadores como Freinet, que no início do século XX já enfocava que "ninguém avança sozinho em sua aprendizagem, a cooperação é fundamental", defendendo também idéias como: A aprendizagem é mais eficaz através da experiência, é essencial que, para uma boa sintonia na cooperação professor-aluno o professor considere o conhecimento já existente do aluno, e que este é fruto do meio em que vive, ou seja, do contato com a realidade social em que vive o aluno. Logo, tem que haver por parte da comunidade escolar uma preocupação com os aspectos políticos e sociais ao redor da escola, trazendo no seio da pedagogia uma preocupação com a formação de um ser cidadão, social, que atua no presente. Em face do que foi apresentado, vemos que Freinet era um pensador à frente do seu tempo [3].

Na década de 1960, David Ausubel propôs uma teoria da psicologia da aprendizagem denominada Teoria da aprendizagem verbal significativa. Segundo ele:

“A aprendizagem será muito mais significativa na medida em que o novo material for incorporado às estruturas de conhecimento do aluno e adquirir significado para ele a partir da relação com o seu conhecimento prévio. Ao contrário, será mais mecânica ou repetitiva na medida em que produzir menos essa incorporação e atribuição de significado, e o novo material será armazenado isoladamente ou por meio de associações arbitrárias na estrutura cognitiva”.

Ou seja, para que a aprendizagem seja significativa é necessário que haja uma interação e não uma simples associação entre aspectos relevantes da estrutura cognitiva e as informações novas. Para Marco Antônio Moreira [6]:

“Os alunos inicialmente possuem uma física ingênua, e, que o professor deve fazer a mudança conceitual no aluno. “Essa mudança, no entanto, é feita por um processo lento e gradual”. Nesse contexto o conhecimento prévio do aluno é o mais importante para dar seguimento aos novos conhecimentos, e outro ponto importante é a interação social.”

Para que se dê a aprendizagem significativa devem estar presentes na natureza cognitiva do educando, os chamados conceitos subsunçores específicos com os quais o novo material está relacionado. Mas o que vem a ser o “Subsunçor” (do inglês “subsumer”, sem tradução na língua portuguesa) é um conceito já existente na estrutura cognitiva do educando. Agora um organizador prévio é outro conhecimento, que faz a “ponte” entre os subsunçores e o novo conhecimento.

Uma das maiores dificuldades na aquisição de determinados conceitos científicos é a resistência criada pela recorrência que o aluno faz a concepções alternativas, pré-concepções, ou a idéias prévias, corpo de conhecimentos este que se costuma denominar de ciência do senso comum, ou seja, determinados conhecimentos prévios criam uma resistência cognitiva.

Para entender a ciência contextualmente correta o aluno deve libertar-se da ciência do senso comum, que lhe fornece as estruturas mentais alternativas. Para isso, é necessário, numa primeira etapa, que o professor conheça as pré-concepções dos alunos e, em seguida, planeje atividades que auxiliem no esclarecimento das concepções cientificamente corretas.

Para Ausubel, não há uma dicotomia entre aprendizagem significativa e

aprendizagem mecânica (ou repetitiva), e sim um continuum. Outra distinção que o mesmo faz é entre a aprendizagem “por descoberta”, e a aprendizagem “por recepção” (perceptiva), sendo que na primeira o conteúdo principal a ser aprendido deve ser descoberto pelo educando, já na segunda, o que deve ser aprendido é apresentado ao aluno na sua forma final. Para Novak, no caso da inexistência de subsunçores, a aprendizagem mecânica é necessária, sendo que a mesma ocorre até que alguns elementos de conhecimento nessa área, relevantes a novas informações na mesma área, existam na estrutura cognitiva e que possam servir como subsunçores, ainda que pouco elaborados.

2.1.3. As atividades prático-experimentais.

Todos sabem das dificuldades por que passam os nossos sistemas de ensino. Isso é verificado em avaliações nacionais como o ENEM, e também em avaliações internacionais como o projeto PISA, o qual vem demonstrando a baixa qualidade do ensino provido. Dentre as inúmeras causas podemos citar a desvalorização da profissão docente com baixos salários, descaso com relação aos espaços educacionais, e falta de incentivo a programas de aperfeiçoamento para os educadores.

Com relação ao ensino de ciências temos observado movimentos de reformas curriculares ao longo das últimas décadas, movimentos como o PSSC e vários cursos da Nuffield Foundation, que deram destaque ao ensino prático-experimental como elemento fundamental para um ensino de ciências de qualidade, que venha atender às necessidades de estudantes, professores, e da sociedade, já discutidos anteriormente.

A LDB estabelece que os estudantes integrem conhecimento teórico e conhecimento prático, sendo isso possível somente com os ensinamentos teórico e experimental efetuados em consonância. Essa meta é justificada pelo fato que o conhecimento que teorias e leis carregam só fazem sentido, se nos permite ter uma compreensão do mundo natural e tecnológico, em outras palavras, porque as coisas são de determinada maneira e não de outra.

“Descartar a possibilidade de que os laboratórios têm um papel importante no ensino de ciências significa destituir o conhecimento científico de seu contexto, reduzindo-o a um sistema abstrato de definições, leis e fórmulas. O que se deseja, busca é evitar uma fragmentação do conhecimento, de modo que a própria aprendizagem seja mais interessante, motivadora e acessível aos estudantes” [7].

“Nós preferimos pensar que os laboratórios funcionam porque acrescentam cor, a curiosidade de objetos não usuais e eventos diferentes, em contraste com a prática comum de sala de aula de permanecer assentado.” [8].

Dentre os objetivos mais comuns atribuídos às atividades prático-Experimentais estão: Testar ou Descobrir /formular uma lei científica, sendo que o teste que se pretende fazer é em geral, de um aspecto específico de uma lei ou teoria, e não de seus fundamentos.

Um segundo objetivo seria que o educando realize uma apreciação sobre o método científico e a natureza da ciência. Fundamentando esse objetivo para o laboratório, os parâmetros Curriculares Nacionais [2] propõem que o ensino de ciências deve propiciar.

“[...] ao educando compreender as ciências como construções humanas, entendendo como elas se desenvolvem por acumulação, continuidade ou ruptura de paradigmas, relacionando o desenvolvimento científico com a transformação da sociedade” (p.107).

Um terceiro objetivo para as atividades prático-experimentais seria facilitar a aprendizagem e a compreensão de conceitos, pois propicia dentre outras coisas, imagens vívidas e memoráveis de fenômenos interessantes, ou seja, permite a ilustração de idéias e conceitos aprendidos nas “aulas teóricas”, é o que normalmente é descrito como o “ver na prática”.

“O laboratório de ciências fornece uma base fenomenológica sobre fenômenos e eventos que se contrapõe à percepção desordenada do cotidiano” [7].

Já um quarto objetivo para as atividades é proporcionar aos educandos, a

aquisição e desenvolvimento de habilidades práticas ou técnicas básicas de laboratório, como por exemplo: a realização de pequenas montagens, aprenderem a usar instrumentos específicos e equipamentos, medir grandezas físicas, aprendendo a lidar com erros e incertezas inerentes ao processo de medição, em certos casos, repetindo muitas vezes procedimentos, para aumentar a confiabilidade dos resultados. Além disso, o estudante é incentivado a obter e a colocar as informações em diferentes formas de representação. Objetivo esse já referido anteriormente nos parâmetros Curriculares Nacionais para o ensino médio [2].

Várias críticas são feitas ao modo como as atividades são tradicionalmente realizadas. Dentre elas podemos citar: As operações de montagem do equipamento, a coleta dos dados, e os cálculos consomem muito ou quase todo o tempo disponível. Há também a argumentação que os equipamentos caros e complexos só encontrados nos laboratórios tornam o ensino distante da realidade, contribuindo para uma dificuldade de compreensão das idéias e conceitos envolvidos nas atividades práticas.

Uma possível solução é estruturar as atividades como investigações ou problemas práticos mais abertos. Iniciando com atividades mais fechadas e sendo progressivamente aumentado o grau de abertura.

“Um curso baseado em investigações apresenta a característica única de combinar processos, conceitos e procedimentos na solução de um problema” [7].

Um problema diferentemente de um exercício é uma situação perturbadora/desafiadora, que não pode ser resolvida por uma simples aplicação de um algoritmo, baseado em situações semelhantes anteriores.

No que se refere ao grau de abertura, ou melhor, no que é denominado grau de abertura, indica-se quem tem a responsabilidade sobre determinadas etapas da atividade, ou seja, indica quanto o professor ou roteiro que o mesmo forneça especifica a tarefa do aluno. Notemos que há um contínuo cujos extremos são os exercícios, e no outro estão os problemas completamente abertos. Conforme a tabela 2.1.

Aspectos	Laboratório Tradicional	Atividades Investigativas
Quanto ao grau de abertura	Roteiro pré-definido	Variado grau de abertura
	Restrito grau de abertura	Liberdade total no planejamento
Objetivos das atividades	Comprovar Leis	Explorar Fenômenos
Atitude do estudante	Compromisso com o resultado	Responsabilidade na investigação

Tabela 2.1: [9]

Outra forma de entender essa distinção entre problema aberto e problema fechado foi proposta por Tamir [9], mostrado na tabela 2.2.

Nível de investigação	Problemas	Procedimentos	Conclusões
Nível 0	Dados	Dados	Dados
Nível 1	Dados	Dados	Em aberto
Nível 2	Dados	Em aberto	Em aberto
Nível 3	Em aberto	Em aberto	Em aberto

Tabela 2.2: [9]

Para finalizar, devemos lembrar que para uma atividade prático-experimental ser bem sucedida, é fundamental que haja um planejamento cuidadoso com respeito ao tempo reservado a tal atividade, sem falar em aspectos ligados à segurança.

2.1.4. Atividades a serem desenvolvidas em sala.

Diante de tudo que foi exposto até aqui com relação aos objetivos para a educação e para as atividades prático-experimentais, as etapas a serem desenvolvidas no trabalho serão as seguintes:

Após os 24 alunos do curso pré-vestibular comunitário Santo André, localizado no bairro de São Cristóvão, Rio De Janeiro, responderem as duas primeiras perguntas será feita a análise das respostas, e logo em seguida, o professor dará as respostas referentes às duas primeiras perguntas, acompanhadas dos esclarecimentos das dúvidas, numa pequena aula expositiva, cuja abordagem, depende fundamentalmente das respostas obtidas no questionário de conhecimento prévio e também, das informações obtidas na interação professor-aluno.

Em seguida os alunos responderão a terceira pergunta. Logo após, será feita pelo professor a análise das respostas. E então, o mesmo responderá a terceira pergunta acompanhada de uma breve aula expositiva a respeito das três leis de Newton, e de forças restauradoras.

Na terceira etapa os alunos responderão às duas últimas perguntas (4 e 5), para logo depois serem realizadas as duas experiências descritas na seção seguinte (2.2).

As experiências aqui desenvolvidas têm como objetivos mais específicos: Testar uma lei científica, no caso da invariância do período do pêndulo simples com relação à massa (eq 16), e do aumento do período do oscilador massa-mola com o aumento da massa (eq 11), facilitar a aprendizagem e compreensão de conceitos “fornecendo uma base fenomenológica sobre fenômenos e eventos que se contrapõe à percepção desordenada do cotidiano. [6]”

Temos também a medição da grandeza física período, aprendendo a lidar com erros e incertezas inerentes ao processo de medição.

Após as experiências, as perguntas serão respondidas novamente, somente pelos alunos que não acertaram a previsão a respeito das dependências qualitativa em relação à massa, nas duas últimas perguntas (4 e 5).

Na última etapa de interação professor - aluno será ministrada uma breve

aula expositiva sobre o fenômeno observado nas experiências, sendo introduzidos explicitamente os conceitos de massas inercial e gravitacional.

2.1.5. Questionário de conhecimentos prévios.

Segundo Gunstõne [10], não se pode tomar como certo que todos os membros de um grupo vêem o mesmo fenômeno, e os interpretem da mesma forma, ou aceitem a validade e legitimidade das observações, havendo então a necessidade de atividades pré-laboratório, para que os educandos explicitem suas idéias e expectativas, cabendo então uma discussão com os educandos a respeito da situação ou fenômeno a ser tratado. Podendo ser pedido aos mesmos que relatem suas previsões a respeito do que deverá acontecer devendo os mesmos justificá-las. Na fase pós-atividades, faz-se a discussão das observações, resultados e interpretações obtidos, tentando reconciliá-las com as previsões feitas anteriormente.

Com o objetivo de investigar e analisar os conhecimentos prévios dos alunos foi elaborado um questionário, composto de cinco perguntas a respeito de aspectos relacionados ao equilíbrio, e ao desequilíbrio mecânico, e a movimentos periódicos, mais especificamente ao movimento periódico do pêndulo simples e do oscilador massa-mola vertical.

O questionário a seguir, foi respondido por 24 alunos do curso Pré-vestibular comunitário Santo André, localizado no bairro de São Cristóvão, Rio de Janeiro. A faixa etária dos alunos foi bastante heterogênea, com idades variando de 17 a 45 anos, assim como os colégios de origem, sendo em sua grande maioria originados de colégios públicos.

1- O que é um movimento periódico?

Resposta: Podemos definir movimentos periódicos como aqueles que se repetem a intervalos de tempos iguais, sendo o intervalo de tempo mínimo para a repetição do movimento denominado período, T . Sendo assim, se ocorrerem n

repetições do movimento em um intervalo de tempo Δt , o período do movimento será:

$$T = \frac{\Delta t}{n}$$

2- Dê exemplos de movimentos periódicos.

Resposta: O movimento de rotação da terra em torno do próprio eixo, com período aproximado de 24h, movimento associado aos dias e as noites. O movimento de translação da Terra em torno do Sol, com período de aproximadamente 365 dias. Temos também na escala astronômica o movimento de rotação da Lua em torno da Terra, com período aproximado de 28 dias, movimento esse associado às fases da Lua.

Passando agora à escala terrestre, podemos citar como sistemas mecânicos oscilantes, pêndulos, diapasões, e cordas, em instrumentos como o violão e violino, o de um trampolim, ou do movimento vertical de um carro ao passar por uma lombada, o de uma massa presa a uma mola, volante de um relógio, dentre outros. Microscopicamente temos o movimento das moléculas do ar ao serem atingidas pela onda sonora, sem falar dos átomos nas moléculas ou em uma rede cristalina, sabemos também que, a corrente elétrica alternada que nos serve é oscilatória.

3- Defina equilíbrio mecânico. Qual é a condição para este estado?

Resposta: Um corpo está em equilíbrio em um dado referencial, quando a aceleração medida nesse referencial é nula, o que pela primeira lei de Newton indica que a força resultante; $F_R = 0$.

4- O período do pêndulo simples aumenta, diminui, ou permanece constante com o aumento da massa? Responda qualitativamente.

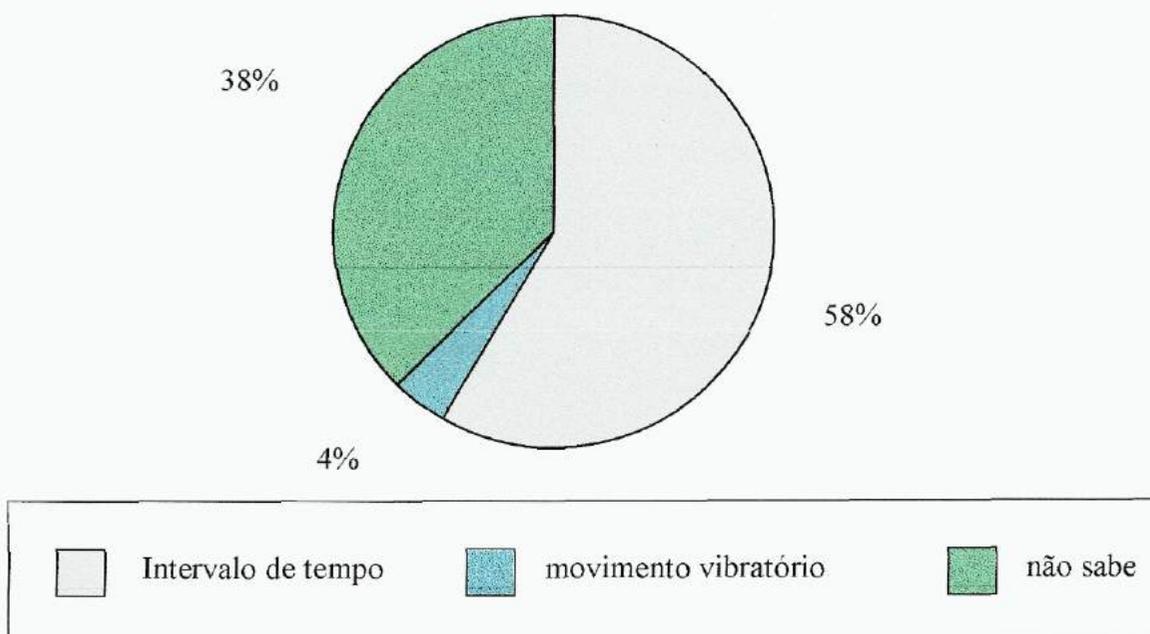
Resposta: Permanece constante, devida à igualdade das massas inercial e gravitacional, no caso aumenta a inércia e a força restauradora.

5- O período do oscilador massa-mola vertical aumenta, diminui, ou permanece constante com o aumento da massa? Responda qualitativamente.

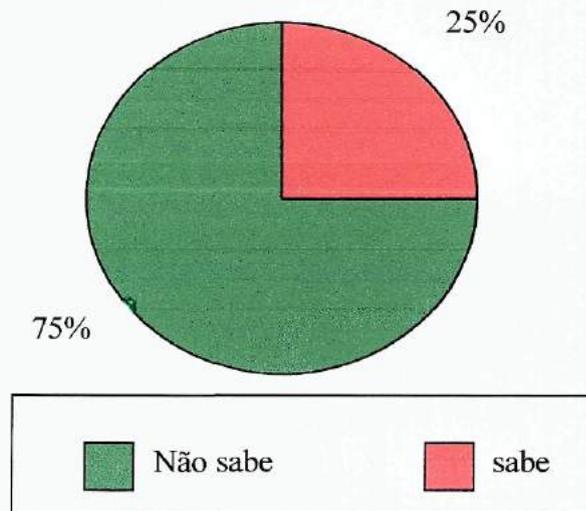
Resposta: Aumenta devido ao aumento da inércia, e à característica restauradora permanecer inalterada.

2.1.5.1. Gráficos referentes aos questionários de conhecimentos prévios.

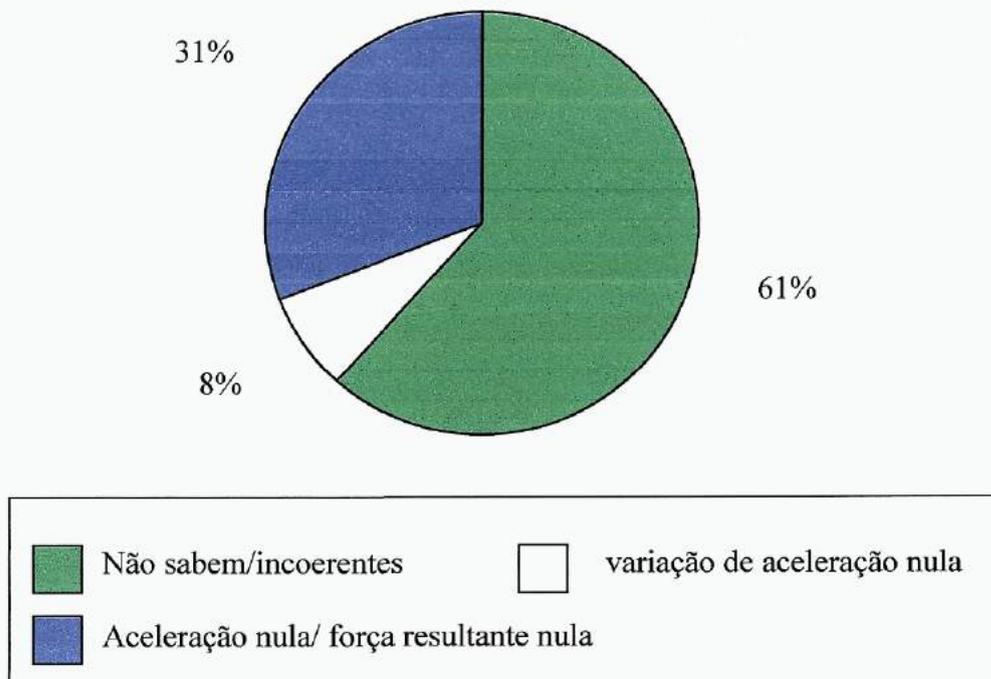
Questão nº.1 - O que é um movimento periódico?



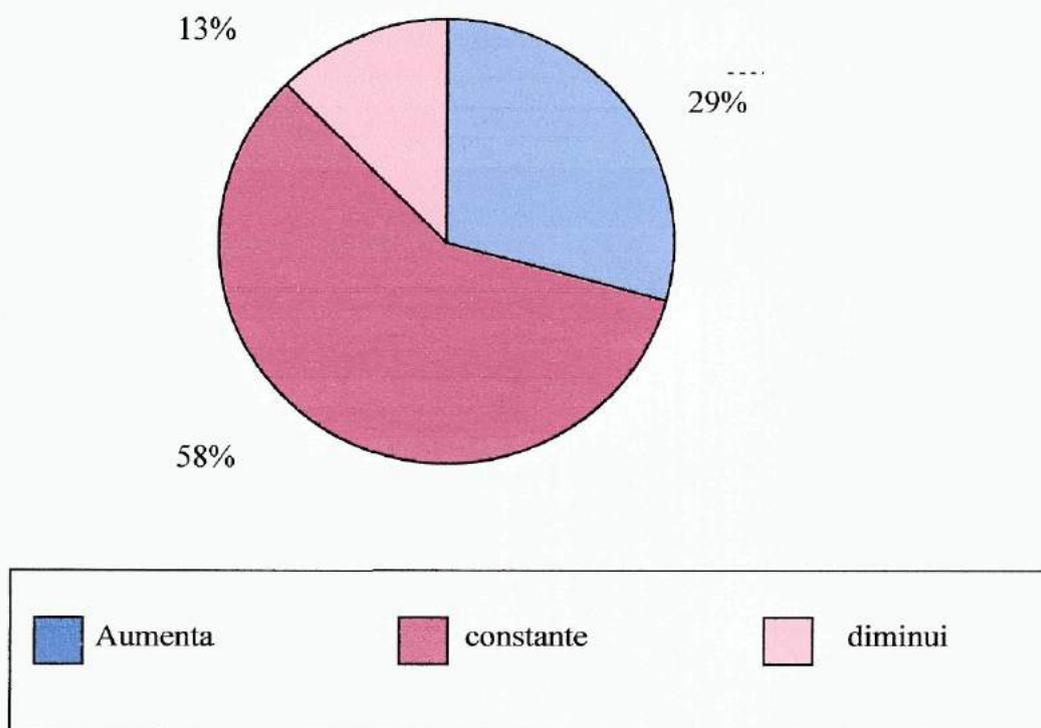
Questão n°. 2 – Dê exemplos de movimentos periódicos.



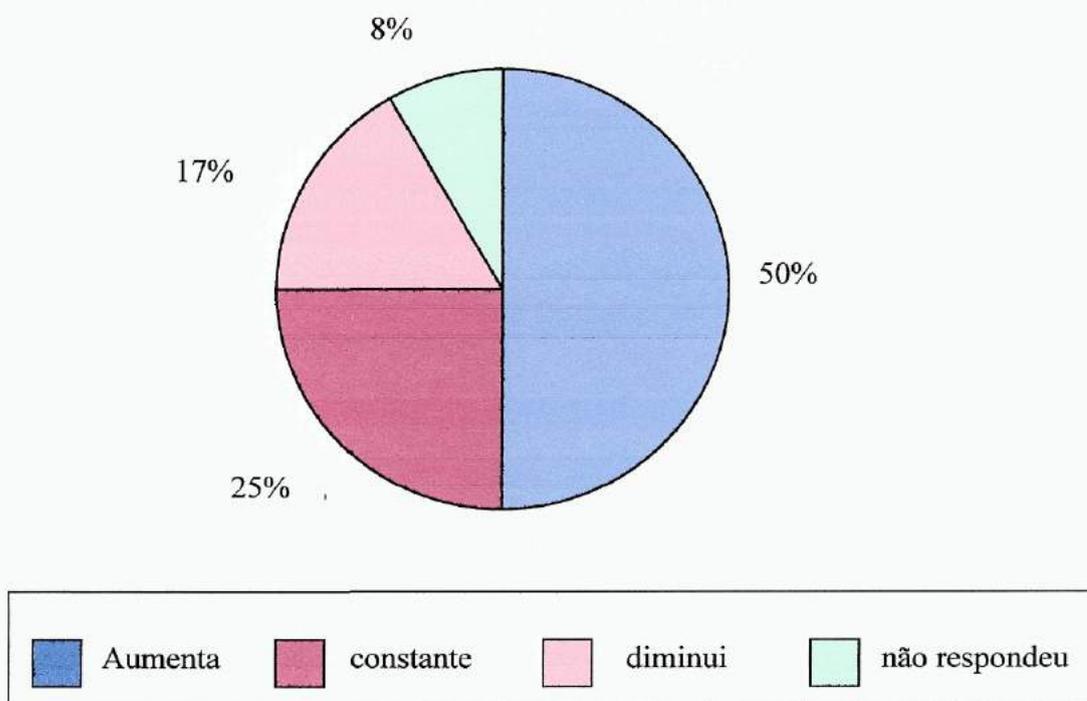
Questão n°. 3 – Defina equilíbrio mecânico, qual a condição para este estado?



Questão n°. 4 – O período do pêndulo simples aumenta, diminui, ou permanece constante com o aumento da massa? Responda qualitativamente.



Questão n°. 5 - O período do oscilador massa-mola aumenta, diminui, ou permanece constante com o aumento da massa? Responda qualitativamente.



2.1.5.2. Análise das respostas

Com relação à primeira pergunta percebe-se que (42%) desconhecia o conceito correto, estando esses 42% no grupo da resposta não sabe /incoerentes. Nesse grupo encontramos respostas como: é um movimento contínuo, sem variação na velocidade, no caso, há uma confusão com movimento uniforme. O movimento periódico é a distância percorrida por um móvel em relação ao tempo, no caso há uma confusão com o conceito de distância escalar em relação à posição de equilíbrio. É o menor intervalo de tempo para completar um ciclo, indicando uma confusão com o conceito de período. Isso tudo, nos faz perceber que a aula expositiva a respeito do tópico era realmente necessária para a continuidade do entendimento da atividade por parte dos estudantes.

Quanto aos exemplos de movimentos periódicos, a maioria (75%) soube exemplificar, apesar da maioria não conhecer o conceito correto de movimentos periódicos. Dentre os exemplos mais citados estão: movimento de rotação da terra, movimento de translação da terra, e o movimento pendular.

Já para a pergunta de número três, 16 alunos (68%) desconheciam o conceito correto de equilíbrio de translação, sendo estas respostas classificadas como não sabe / incoerentes. Nesse grupo há respostas como: Equilíbrio mecânico se dá com o valor dos módulos iguais, para esse estado é necessário que a força de ação seja igual a de reação, no caso, pensa-se em resultante nula, porém, há um erro conceitual em relação à terceira lei de Newton. Convém ressaltar que desses 16 alunos, 12 simplesmente não responderam, sendo que os outros 8 alunos (31%), o conheciam, ainda que parcialmente. Diante disso, a aula expositiva realmente se faz necessária de modo a dar subsídios aos educandos, a responder/ elaborar as perguntas se números 4 e 5, e também claro, a suprir essa carência evidente na formação dos mesmos.

Para a quarta pergunta, 14 alunos (58%) responderam constante, acertando a previsão para o pêndulo simples, porém, a justificativa correta através de conceitos só foi feita por 3 alunos (8% do total), sendo que 1 aluno (4%) a acertou pelo uso de fórmula, o que indica que realmente desconhecem “o porquê”,

caracterizando o popular "acerto no chute", ou com justificativas incoerentes como: O peso e a gravidade não interferem, o período permanece o mesmo, pois não há uma força diferente da gravidade ou peso atuando no pêndulo, porque a relação tração-peso é proporcional, ou até mesmo, porque não há força atuando no pêndulo.

Já com relação à resposta que o período do pêndulo aumenta, 7 alunos(29%) responderam com justificativas do tipo: A massa interfere na velocidade, ou mesmo, o peso diminui quando sobe e aumenta quando desce, o que mostra nesse caso uma confusão com o conceito de rapidez (módulo da velocidade).

Somente 3 alunos(13%) responderam que o período do pêndulo diminui. Alegando que a maior massa faz com que a velocidade diminua. Nesse caso pensaram corretamente no aumento da inércia, porém, não atentaram para o fato do aumento também da força restauradora.

Agora, com relação à quinta pergunta, somente 4 alunos(17%) acertaram a previsão da diminuição do período para o oscilador massa- mola, e ainda, nenhum aluno soube justificar corretamente, o porquê do aumento.

Após a realização das experiências, dos 10 alunos (42%) que haviam respondido que o período do pêndulo aumentava ou diminuía com o aumento da massa, nenhum soube justificar corretamente, o porquê da invariância do período.

Já com relação à pergunta de número 5, 7 alunos (70%) tiveram respostas incoerentes ou não sabiam explicar o porquê do aumento do período com a massa, para o oscilador massa-mola, sendo que 3 alunos (30%) responderam parcialmente correta, alegando maior inércia, não mencionando a manutenção da força restauradora.

2.2. Materiais

2.2.1. Pêndulo simples.

Material: * Fio de nylon de pesca de 0,8m de comprimento

* Massas de chumbo de: 21 g, 38 g, e 52 g

* Cronômetros (Relógios de pulso digitais)

* Armação de madeira para a fixação do fio, conforme a figura 2.3



Figura 2.3: Pêndulo simples.

Os procedimentos experimentais adotados se encontram na seção 4.1.1

2.2.2. Oscilador massa-mola vertical

Material: * mola de metal

* Massas de chumbo de: 21 g, 38 g, e 52 g

* Cronômetro

*Armação de madeira para a fixação da mola, conforme a figura 2.4



Figura 2.4: Oscilador massa-mola.

Os procedimentos experimentais adotados se encontram na seção 4.1.2

3. CONCEITOS FÍSICOS, BASE EXPERIMENTAL E FENOMENOLÓGICA

3.1. Oscilações

Podemos definir movimentos periódicos como aqueles que se repetem a intervalos de tempos iguais, sendo o intervalo mínimo para a repetição do movimento denominado período, T . Sendo assim, se ocorrerem n repetições do movimento num intervalo de tempo Δt , o período do movimento será:

$$T = \frac{\Delta t}{n} \quad (1)$$

A frequência, f , é então definida como o número de oscilações (ciclos) por unidade de tempo:

$$f = \frac{n}{\Delta t} \quad (2)$$

Sendo igual então ao inverso do período.

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

No sistema MKS as unidades do período T , e da frequência f , são respectivamente s , e s^{-1} , conhecido como Hertz (símbolo Hz). Os movimentos periódicos podem ser descritos em termos das funções seno e co-seno, motivo pelo qual também são denominados movimentos harmônicos.

Os movimentos periódicos estão presentes em nossa vida diária. Para citar alguns exemplos, temos: O movimento de rotação da terra em torno do próprio eixo,

com período aproximado de 24h, movimento associado aos dias e as noites. O movimento de translação da Terra em torno do Sol, com período de aproximadamente 365 dias. Temos também na escala astronômica o movimento de rotação da Lua em torno da terra, com período aproximado de 28 dias, movimento esse associado às fases da lua.

Quando o movimento ocorre para frente e para trás numa mesma trajetória, em torno de uma posição de equilíbrio, ponto no qual a aceleração é nula, o movimento é dito oscilatório ou vibracional, sendo o deslocamento (linear ou angular) a distância (linear ou angular) a que se encontra a partícula da posição de equilíbrio.

Uma oscilação é dita livre, quando o sistema, após ser estabelecida a configuração inicial, não é submetido a forças externas oscilatórias, e estabelece o próprio período de oscilação, determinado este, pelos parâmetros que o caracterizam [11]. Já no caso de impulsos periódicos, teremos então uma oscilação forçada, tendo que ser considerado a relação entre o período da força externa, e o período próprio (natural) do sistema.

Passando agora à escala terrestre, podemos citar como sistemas mecânicos oscilantes, pêndulos, diapasões, e cordas, em instrumentos como o violão e violino, o de um trampolim, ou do movimento vertical de um carro ao passar por uma lombada, o de uma massa presa a uma mola, volante de um relógio, dentre outros. Microscopicamente temos o movimento das moléculas do ar ao serem atingidas pela onda sonora, sem falar dos átomos nas moléculas ou numa rede cristalina, temos também que, a corrente elétrica alternada que nos serve é oscilatória.

O estudo das oscilações serve como requisito básico para o estudo dos movimentos ondulatórios, constituindo as oscilações e as ondas fenômenos de importância fundamental na física, sendo que as oscilações correspondem a vibrações localizadas, ao passo que as ondas estão associadas à propagação dessas vibrações.

3.2. Movimento harmônico simples (MHS)

“Dentre todos os movimentos oscilatórios, o mais importante é o movimento harmônico simples (MHS), porque além de ser o movimento mais simples de se descrever matematicamente, constitui uma descrição bastante precisa de muitas oscilações encontradas na natureza [12].”

Um corpo realiza um movimento harmônico simples linear quando, numa trajetória retilínea, vibra em torno da posição de equilíbrio, sob a ação de uma força resultante, cuja intensidade (módulo) é proporcional ao módulo da distância à posição de equilíbrio, e cujo sentido é orientado para a posição de equilíbrio. Devido a essa orientação, a força é denominada restauradora. Sendo a origem a posição de equilíbrio, vetorialmente podemos expressar essa força como:

$$F = -K X \quad \text{Onde: } K \text{ é uma constante positiva.} \quad (4)$$

A constante K é denominada constante de força do MHS, e a abscissa x é também conhecida com elongação. Em termos escalares podemos escrever $F = -K X$. Retomando o que foi dito no primeiro parágrafo, uma das características que tornam o estudo do oscilador harmônico simples importante, reside no fato, de que muitos problemas que envolvem sistemas oscilantes reduzem-se ao problema do MHS, ou a uma combinação de tais vibrações, quando a sua elongação é pequena [13].

Considere um corpo em movimento circular e uniforme (MCU) numa circunferência de raio A , conforme a figura 3.1. Mostraremos que a projeção desse movimento ao longo do eixo x é uniforme.

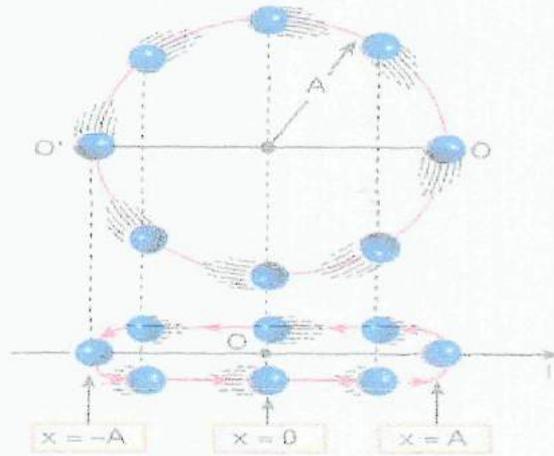


Figura 3.1: *Relação entre movimento circular uniforme (MCU) e movimento harmônico simples (MHS) ao longo do eixo x [14].*

Nota-se no movimento da projeção que, a abscissa varia de $+A$ (elongação máxima), e $-A$ (elongação mínima). Nesse caso A é denominada amplitude do movimento. O período do movimento de projeção é claramente o mesmo do MCU. Conforme demonstraremos, esse movimento da projeção é um MHS. Sendo ω a velocidade angular do MCU, temos:

$$T_{\text{MCU}} = T_{\text{MHS}} = \frac{2\pi}{\omega} \quad (5)$$

Na figura 3.2 a seguir, é destacada a posição ocupada no instante t por uma partícula no MCU, bem como a abscissa do MHS.

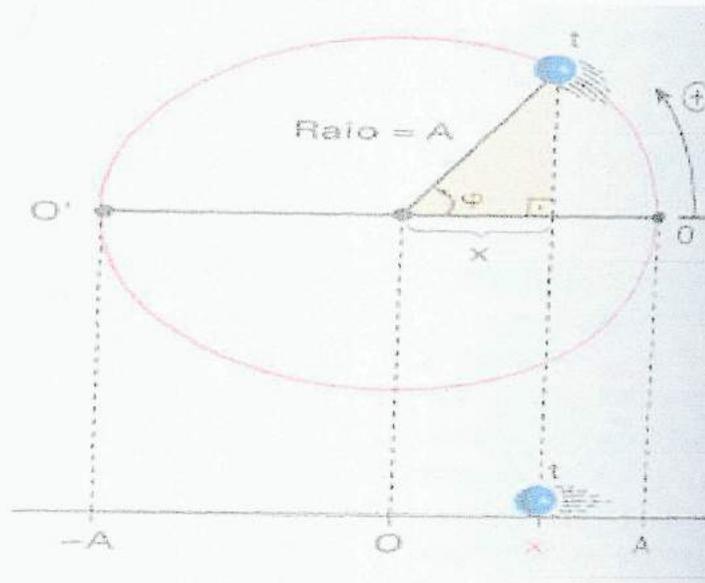


Figura 3.2: *Projeção da posição no MCU ao longo do eixo x* [14].

Conforme vimos ao estudar o MCU, o ângulo φ é denominado fase do movimento, sendo o mesmo dado por:

$$\varphi = \varphi_0 + \omega t \quad (6)$$

No triângulo retângulo destacado vemos que, pela projeção da hipotenusa (Raio A), sobre o eixo $O'O$, temos :

$$X = A \cos (\omega t + \varphi_0) \quad (7)$$

Ou seja, esta é a equação horária de posição do MHS. Da mesma forma, a velocidade instantânea no MHS também é determinada através da projeção da velocidade tangencial (escalar) do MCU, sobre o eixo Ox .

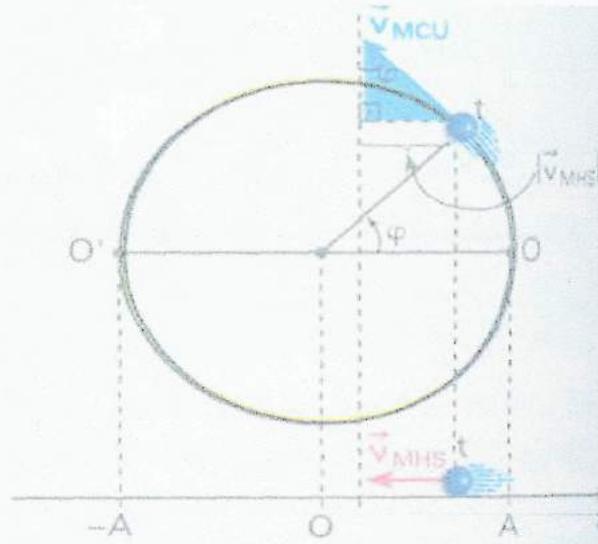


Figura 3.3: Projeção da velocidade no MCU ao longo do eixo x [14].

Pela figura 3.3, temos do triângulo retângulo destacado a equação horária da velocidade no MHS.

$$v_{MHS} = -\omega A \sin(\omega t + \varphi_0). \quad (8)$$

O sinal negativo está relacionado com o sentido do referencial.

De posse dessas duas equações horárias, podemos determinar a amplitude A , e a fase inicial φ_0 .

$$X_0 = A \cos(\varphi_0)$$

$$V_0 = -\omega A \sin(\varphi_0)$$

De onde obtemos:

$$A = \sqrt{\left[X_0^2 + \left(\frac{V_0}{\omega} \right)^2 \right]} \quad (9)$$

$$\operatorname{tg}(\varphi_0) = \frac{V_0}{\omega X_0} \quad (10)$$

De onde se vê que a amplitude e a fase inicial ficam perfeitamente determinadas pelas condições iniciais, ou seja, como foi iniciado o movimento.

Analogamente, a aceleração escalar instantânea, e obtida pela projeção da aceleração centrípeta no MCU (de módulo $\omega^2 A$), sobre a trajetória do MHS. Esta projeção esta representada na figura 3.4 a seguir.

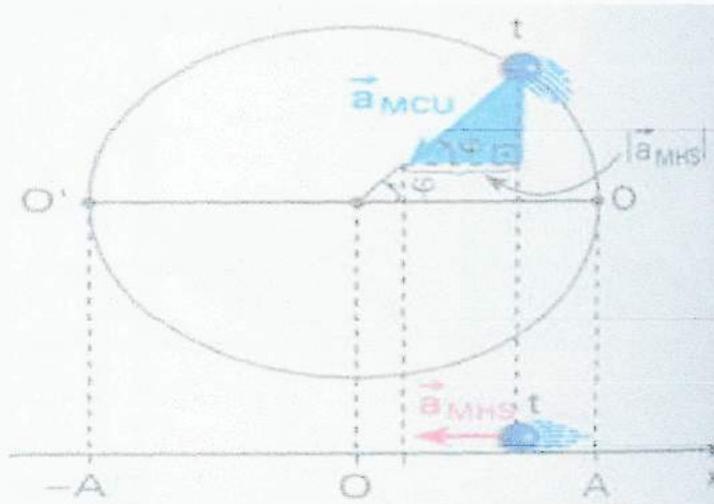


Figura 3.4 Projeção da aceleração no MCU ao longo do eixo x [14].

Do triângulo destacado da figura, e observando-se a orientação do vetor aceleração, temos como equação horária da aceleração escalar instantânea:

$$a_{MHS} = -\omega^2 A \cos(\omega t + \varphi_0) \quad (11)$$

A força associada à aceleração do MHS, que por sinal trata-se da projeção da resultante centrípeta do MCU, é pela segunda lei de Newton. $F_{MHS} = m a_{MHS}$, de onde obtemos: $F_{MHS} = -m \omega^2 X$.

Comprovando que realmente trata-se de um MHS. Nesse caso vemos que a constante de força K , relaciona-se com a frequência angular do MHS, ω , e com a massa m , através da relação:

$$\omega = \sqrt{\frac{K}{m}} \quad (12)$$

Analisando essa expressão, vemos que a frequência angular, ω , fica determinada pela constante de força do MHS, a qual depende da situação física, e da inércia do corpo que esta oscilando, inércia esta, associada a massa inercial m .

Sabemos que a frequência angular ω esta relacionada com o período através da equação:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (13)$$

Das equações (12) e (13) obtemos:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \quad (14)$$

Interpretando fisicamente essa expressão vemos que o período depende somente da inércia do corpo oscilante (m), e da constante de força associada à situação física que dá origem ao MHS.

As equações horárias do MHS podem ser obtidas através da equação (1) $F = -kx = ma$, referente à segunda lei de Newton, utilizado para isso o cálculo integral e diferencial. A equação acima é uma equação diferencial ordinária linear homogênea de segunda ordem. Porém os métodos matemáticos utilizados para a sua resolução fogem do escopo do ensino médio.

3.3. Oscilador massa-mola

No século XVII, Robert Hooke estudando a deformação dos corpos elásticos, chegou a seguinte expressão empírica $F = - kx$ para a força exercida pelo corpo, quando o mesmo apresentava uma pequena deformação x . Essa expressão é conhecida como Lei de Hooke.

“Se o sólido for deformado além de determinado ponto, denominado limite elástico, ele não retornará a sua forma original, quando suprimida a força externa aplicada, sendo o intervalo de valores de forças aplicadas para as quais é válida a lei de Hooke denomina-se região proporcional [13].”

Convém lembrar que pela questão da força ser unidimensional e depender somente da posição, a mesma é conservativa. Tomando com o ponto de referência de energia potencial nula como $x=0$, a função energia potencial é dada por $E_p = kx^2/2$

Para o caso particular em que o corpo elástico é uma mola, a constante de força k recebe a denominação de constante de força da mola, ou constante elástica da mola, ou simplesmente constante elástica. Molas com maiores constantes elásticas são molas mais “duras”, ou seja, é necessária uma maior força externa para que a mesma apresente um mesmo alongamento (deformação). É demonstrável que a “constante” de força da mola é inversamente proporcional ao comprimento da mesma.

Considere um bloco de massa m , preso a uma mola conforme a figura 3.5.

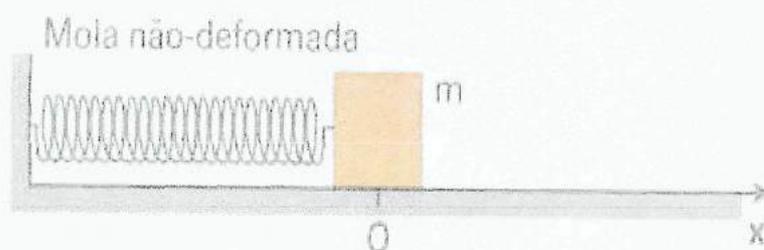


Figura 3.5: [14]. Oscilador massa-mola.

Supondo inexistente o atrito do bloco com o apoio, e a força de resistência do ar, de modo a facilitar nossos cálculos. Ao ser deslocado da posição de equilíbrio, até uma abscissa A , e solto ($v = 0$). O bloco passará a realizar um MHS, de amplitude A , período $T = 2\pi \sqrt{m / K}$, onde nesse caso, K é a constante elástica da mola.

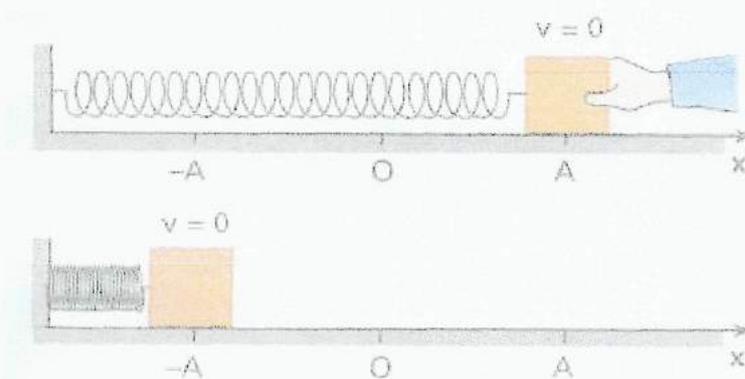


Figura 3.6: [14]. Oscilador massa-mola.

Se o bloco estiver preso a uma mola oscilando na direção vertical (oscilador massa-mola vertical), a força atuando ao longo da direção do movimento não é mais somente a força elástica, mas sim, a composição da mesma com a força peso. Demonstra-se que o período é igual ao do oscilador massa-mola horizontal, diferindo

somente o ponto de equilíbrio em torno do qual o bloco irá oscilar que não é mais o ponto para o qual a deformação da mola é nula, mas sim, o ponto para o qual a força elástica exercida pela mola compensa o peso. Conforme a figura 3.7, Temos então:

$$K x' = mg \quad \rightarrow \quad x' = \frac{mg}{K} \quad (15)$$

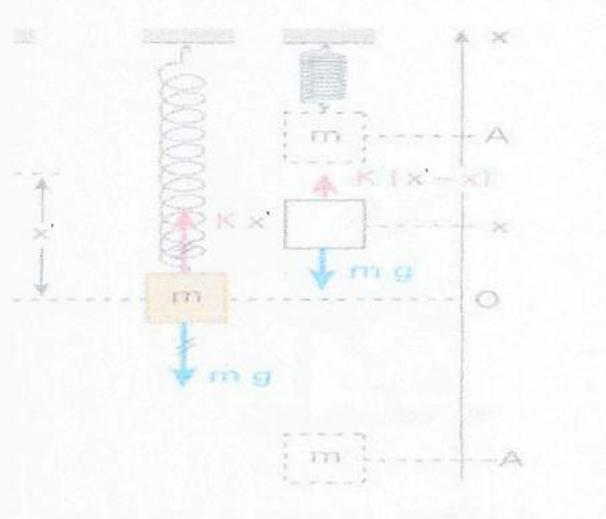


Figura 3.7: Oscilador Harmônico vertical [14].

3.4. Pêndulo simples

Qualquer corpo rígido suspenso de forma que possa oscilar livremente em um plano vertical, em torno de um eixo que passe pelo corpo, é denominado pêndulo físico ou pêndulo composto.

O pêndulo é denominado simples, quando o mesmo pode ser considerado como uma massa puntiforme suspensa por um fio flexível ou haste, de massa desprezível. Quando a massa é afastada de sua posição de equilíbrio ($\theta = 0$) na figura abaixo, o mesmo passa a oscilar sob as ações da gravidade, e da tração exercida pelo fio. No caso são desprezadas as demais interações, por exemplo, a força de atrito viscoso, exercida pelo ar.

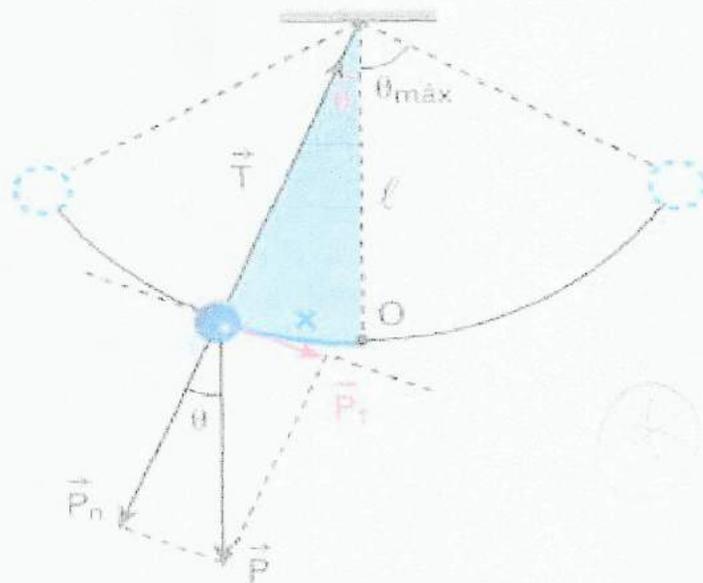


Figura 3.8. Pêndulo Simples [14].

Na figura acima, esta representado um pêndulo simples, de comprimento l , sendo m a massa da partícula; o fio forma um ângulo de módulo θ com a vertical. As forças que atuam no corpo são o seu peso, mg , a tração no fio, T .

Decompondo o peso, mg , nas direções radial, e_r , e tangencial, e_θ , temos componentes de módulos, $mg |\cos \theta|$ e $mg |\sin \theta|$ respectivamente.

A componente radial, assim como a tração estão associadas com a mudança de direção do vetor velocidade, ou seja, formam a resultante centrípeta. Já a componente tangencial, é a responsável pela variação do módulo da velocidade. No caso é a própria resultante tangencial. A resultante tangencial está sempre desacelerando a partícula quando a mesma esta se afastando da posição de equilíbrio, em outro caso, está acelerando a partícula no sentido da posição de equilíbrio. O que faz com que a força seja restauradora. No caso pela segunda lei de Newton para a direção radial temos:

$$ma_\theta = -\frac{mld^2\theta}{dt^2} = -mg\sin\theta \quad (16)$$

Para o ângulo medido em radiano, e sendo pequeno o desvio em relação a posição de equilíbrio, ou seja, sendo θ pequeno $\ll 1$. Temos que $\theta \approx \sin \theta$. A equação (16) toma a forma $m a_\theta = -m \theta$. Que no caso é a equação (16) linearizada. Pela figura vemos que $\theta = x / l$. Logo:

$$m a_\theta = -\frac{mgx}{l} \quad (17)$$

Observando a equação (17) verificamos que se trata de uma oscilação harmônica, com a constante de força dada por:

$$K = \frac{mg}{l} \quad (18)$$

Neste caso o período de oscilação é dado por:

$$2\pi \sqrt{\frac{m_i}{\left(\frac{m_i g_{\text{sup}}}{l}\right)}} \quad (19)$$

As massas presentes na equação acima, a saber, são: a massa gravitacional e a massa inercial. Essas massas estão associadas a conceitos distintos, conforme discutiremos mais adiante. Verifica-se que as mesmas são iguais. O que faz com que o período seja dado por:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (20)$$

“O fato de o período ser independente da amplitude de oscilação (desde que permaneça pequena) constitui o isocronismo das pequenas oscilações do pêndulo, descoberto por Galileu. Galileu também menciona em “duas novas ciências” que “os tempos de vibração de corpos suspensos por fios de comprimentos diferentes estão entre si como as raízes quadradas dos comprimentos dos fios” [11].”

Quando a amplitude angular ($\theta_{\text{máx}}$) não é pequena. É demonstrável que:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \left[1 + \frac{1}{2^2} \text{sen}^2\left(\frac{\theta_m}{2}\right) + \frac{3^2}{4^2} \text{sen}^4\left(\frac{\theta_m}{2}\right) + \dots \right] \quad (21)$$

Para θ_m igual a 15° , o que corresponde a uma amplitude total de 30° , o período dado pela eq (20) difere do período dado pela eq (21) em menos de 0,5 %.

4. ANÁLISE E RESULTADOS

4.1. Desenvolvimento das atividades em sala

Conforme mencionado na seção 2.1.4, inicialmente foram feitas as duas primeiras perguntas a respeito de movimentos periódicos. A Análise das respostas foi então realizada pelos professores Gil Máx e Leonardo Motta, do Curso Pré-Vestibular comunitário Santo André, e então, foi ministrada em seguida uma aula expositiva, cujo conteúdo, encontra-se na seção 3.1, e cuja abordagem, dependeu fundamentalmente das respostas obtidas no questionário de conhecimento prévio e também, das informações obtidas na interação professor-aluno.

Logo em seguida foi feita a pergunta de número 3, para analogamente, ser dada uma aula expositiva a respeito das leis de Newton, e de forças restauradoras, com enfoque na segunda lei de Newton, dando como exemplos o caso do pêndulo simples e do oscilador massa-mola vertical, tópicos estes referentes às seções 3.3, 3.4, e 3.5. Nesta aula foram mostrados os osciladores massa - mola vertical (fig. 2.4), e um pêndulo simples (fig. 2.3), sendo relatada, neste momento, por parte dos alunos, a ajuda na compreensão do modelo teórico, dada pela visualização dos mesmos.

Na terceira etapa, os alunos responderam as questões de números 4 e 5, para então, serem feitas as experiências cujo procedimentos encontram-se a seguir:

4.1.1. Pêndulo simples

Procedimentos:

1- Para cada massa (21 g, 38 g e 52 g); Os professores Leonardo Motta, Gil Máx, e alunos que se prontificaram a ajudar, mediram o tempo total de 20 oscilações, determinando o período como: $T = \Delta t / 20$.

Nesta etapa foi introduzida a noção de erro, através de exemplos cotidianos, para

justificar o número de 20 oscilações, ao invés de uma.

O valor do período foi determinado através da média aritmética dos períodos medidos, sendo montada a tabela a seguir.

2- Tabela:

Massa (g)	Período (s)	Erro δt (s)
21	1,77	0,01
38	1,76	0,01
52	1,78	0,01

4.1.2 . Oscilador massa- mola

Procedimentos:

1- Assim como no pêndulo simples, Os professores Leonardo Motta, Gil Máx, e alunos que se dispuseram, mediram o tempo total de 20 oscilações, determinando o período como: $T = \Delta t / 20$.

O valor do período foi determinado através da média aritmética dos períodos medidos, sendo montada a tabela a seguir.

2- Tabela:

Massa (g)	Período (s)	Erro δt (s)
21	0,76	0,01
38	0,90	0,01
52	1,09	0,01

Terminadas as experiências, foram respondidas novamente pelos alunos que não acertaram a previsão a respeito das dependências qualitativa em relação à massa, as duas últimas perguntas (4 e 5), os quais tentarão reconciliar idéias anteriores (pré-experiência), com o fenômeno observado nas duas experiências (aumento do período no oscilador massa-mola vertical, e invariância do período no pêndulo simples). Devendo os mesmos justificar suas respostas.

A Análise das respostas foi então realizada pelos professores Gil Máx e Leonardo Motta, e então, para concluir, foi ministrada novamente uma aula expositiva a respeito dos conceitos de massa inercial e gravitacional, referentes à seção 3.5, sendo expostas as fórmulas para o cálculo do período do pêndulo simples (eq 16, seção 3.4), e do período do oscilador massa-mola (eq 11, seção 3.2).

4.2. Massa inercial - massa gravitacional, uma introdução

A massa inercial de um corpo relaciona-se com a aceleração \mathbf{a} com que responde a ação de uma força \mathbf{F} , a ele aplicada, através da segunda lei de Newton :

$$\mathbf{F} = m_i \mathbf{a} \quad (22)$$

É uma medida do "coeficiente de inércia" do corpo, ou seja, a sua resistência em ser acelerado. [11]. Nesse caso a inércia esta associada com a quantidade de matéria. Por exemplo; a inércia de dois blocos idênticos submetidos a ação de uma determinada força, por exemplo exercida por uma mola distendida de um determinado comprimento, é o dobro da inércia de um bloco, ou seja, a aceleração no caso do "bloco duplo" seria a metade da aceleração de um bloco isoladamente. A força \mathbf{F} pode ser de qualquer natureza. Como caso particular, temos: a força gravitacional.

Segundo a lei de Newton da gravitação, a força entre duas partículas quaisquer, de massas m_1 e m_2 , separadas pela distancia r , é atrativa e age ao longo

da linha que une as partículas e seu módulo vale:

$$F_g = \frac{Gm_1m_2}{r^2} \quad (23)$$

Sendo G uma constante universal, isto é, tem o mesmo valor para todos os pares e partículas. No caso de termos um corpo extenso, devemos supor cada corpo como decomposto em partículas, calculando-se a seguir (integrando-se) a interação dessas.

“A interação gravitacional é um tipo especial de força entre dois corpos, análoga à eletrostática, mas com a peculiaridade de que a “carga gravitacional” corresponde à massa. Como se trata de um conceito de natureza totalmente independente, vamos chamá-lo de massa gravitacional [11].”

Para um corpo de massa gravitacional m_g na superfície da terra, a força gravitacional vale em módulo:

$$F_{g_{\text{sup}}} = \frac{Gm_{gT}m_g}{R_T^2} \quad (24)$$

Das equações (22) e (24) em módulo temos:

$$\frac{Gm_{gT}m_g}{R_T^2} = m_i a \quad \rightarrow \quad a = \frac{Gm_{gT}m_g}{R_T^2 m_i} \quad (25)$$

Verifica-se pela experiência que todos os corpos, na superfície da terra, submetidos somente à interação gravitacional (queda livre), possuem a mesma aceleração g. Observando a equação (25), isso só é possível, no caso de termos uma igualdade entre as massas inercial e gravitacional.

$$m_i = m_g \quad (26)$$

“Para a física clássica essa igualdade foi interpretada como uma grande coincidência, sem um significado mais profundo. Porém na física moderna, esta equivalência é considerada como um indício que conduz á um conhecimento mais profundo da gravitação e levando ao desenvolvimento da teoria geral da relatividade [13].”

Newton reconhecendo o caráter extraordinário dessa igualdade procurou verificá-la experimentalmente, através da observação do período de oscilação para pêndulos simples de mesma massa gravitacional (mesmo peso), e de diferentes materiais. No caso a equação (20) toma a forma:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{Im_i}{m_g g_{sup}}} \quad \text{Onde } g = \frac{Gm_{gT}}{R_T^2} \quad (27)$$

Observado que o período era expresso sempre pela eq (16), Newton chegou a eq (26). Levando-o a enunciar como um teorema nos Princípios que "... os pesos dos corpos, ... a igual distância do centro de um planeta, são proporcionais á quantidade de matéria que eles contém", o que corresponde á eq (26)[11].

5. CONCLUSÃO

Da análise das respostas obtidas no questionário de conhecimentos prévios, percebe-se que a maioria dos alunos desconhecia os conceitos de fenômenos periódicos e de equilíbrio. Isso reflete a conhecida deficiência na formação, dos alunos advindos dos colégios públicos da rede estadual, público alvo dos pré-vestibulares comunitários. Os conceitos cientificamente corretos foram introduzidos através de uma aprendizagem por recepção (perceptiva), desenvolvida através da análise dos conceitos já existentes, para que os mesmos pudessem reelaborar as idéias pré-existentes, fazendo assim a mudança conceitual.

O oscilador massa-mola e o pêndulo simples foram apresentados teoricamente no quadro negro, e mostrados concretamente (figuras 2.3 e 2.4), sendo relatada por parte dos alunos a facilitação do entendimento devido à visualização.

Em seguida os educandos relataram as suas previsões a respeito da dependência do período do oscilador massa-mola e do pêndulo simples em relação à massa, desenvolvendo a capacidade de escrita e formalização das idéias, referentes à dimensão representação e comunicação (seção 2.1.1) houve nesse momento intensa interação professor-aluno e aluno-aluno, ocorrendo a chamada construção social do conhecimento.

A experiência foi desenvolvida com a participação dos alunos, sendo introduzida naturalmente a noção de erro, exemplificada para outras situações por parte dos educandos. Nessa etapa foi pequeno o tempo reservado a coleta de dados e montagem do equipamento, estando o foco deslocado para a análise e discussão do fenômeno.

Por fim foi realizada a aula expositiva a respeito dos conceitos de massa inercial e gravitacional, sendo por fim, apresentadas as fórmulas (11) e (16), dos períodos do oscilador massa-mola e do pêndulo simples.

A abordagem investigativa mostrou-se adequada aos objetivos relatados anteriormente para a educação, sendo a mesma muito mais interessante, e proveitosa para os alunos (como relatado pelos mesmos) que a abordagem tradicional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1] MEC. Lei de diretrizes e bases da educação. 1996.
- [2] MEC. Parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio, 1999.
- [3] PINTO, Vera Lúcia Rodrigues. *Conhecimentos pedagógicos para professores do ensino fundamental e médio, especialistas em educação e pedagogos*. Editora MfC, 2004.
- [4] MENEZES, Luis Carlos de. *Uma física para o novo ensino médio*. Física na escola, v.1, n.1, 2000, p.6-8.
- [5] (cf. Sociedade Brasileira de Neurociências e Comportamento, disponível na Internet no endereço <http://fesbe.org.br/sbnec/v3/>).
- [6] MOREIRA, Marcos Antônio. 4º ENLIF, *Palestra sobre pesquisa em ensino de Física*. UFRJ, 11 de Novembro de 2004.
- [7] BORGES, A.T. *Novos rumos para o laboratório escolar de ciências*. Caderno Brasileiro de ensino de Física., v.19, n.3:p.291-313,dez.2002.
- [8] WHITE, R.F. *The link between the laboratory and learning*. International Journal of Science Education, v.18, n.7, p761-774, 1996.
- [9] TAMIR, P. *Training teachers to teach effectively in laboratory*. Science Education, v.73, p.59-70, 1989.
- [10] GUNSTONE, R. Reconstructing theory from practical work. In: WOOLNOUGH, B. (ed) Practical science. Milton Keynes: Open University Press, 1991. p.67-77.
- [11] NUSSENZWEIG, H.M., Física, vol 1 e 2. São Paulo, Editora Edgard Blucher, 1996.
- [12] ALONSO, M.S & FINN, E.S., Física, vol 1. São Paulo Editora Edgard Blucher, 1972.
- [13] RESNICK, R. & HALLIDAY, D., Física, vol.2, Rio De Janeiro Editora LTC, 3 Edição, 1976.
- [14] NEWTON, V.B, DOCA, R. H., BISCUOLA, G. J., Tópicos de Física, vol 2, São Paulo, Editora Saraiva, 2001.