

PRINCÍPIOS DE CONSERVAÇÃO E CONSTRUÇÃO DE MODELOS POR ESTUDANTES DO ENSINO MÉDIO

José Francisco Custódio^a [custodio@ced.ufsc.br]⁽

Maurício Pietrocola^b [pietro@fsc.ufsc.br]⁽

^a PPGE-CED-UFSC

^b Dept(de Física- CFM- UFSC

1- Introdução

A temática dos modelos é atualmente uma das mais trabalhadas na área de pesquisa em ensino de ciências. Eles dão uma nova partida às pesquisas em concepções alternativas, possibilitando discutir como as pessoas constróem representações sobre o mundo. Eles se apoiam amplamente nas discussões sobre *modelos mentais* oriundas da área de psicologia cognitiva (Jonhson-Laird; 1983; Gentner & Stevens, 1983; Gilbert & Boulter, 1998).

Modelos mentais estão contidos na cabeça das pessoas, determinando como elas explicam sistemas físicos e coisas. Entretanto, existem outras classes de modelos, em particular aqueles projetados por cientistas, professores e engenheiros. Por pertencerem a uma prática comunitária e sistemática, tais modelos são consensuais e razoavelmente precisos. Por se fundamentarem em conceitos claros são ditos modelos conceituais. São propostos como instrumento para se compreender ou ensinar um sistema físico, intermediando as interações entre as pessoas e o sistema. Boa parte do ensino científico está relacionada com a assimilação que estudantes fazem desses modelos conceituais.

Entretanto, diversas pesquisas (Pinheiro, 1996; Pietrocola, 1999; Pietrocola & Zylbersztajn, 1999, Borges, 1999) indicam que estudantes apresentam dificuldades quando elaboram modelos sobre fenômenos físicos. Na maioria dos casos, quando solicitados a prever, explicar ou até mesmo justificar o comportamento de determinada situação, mesmo aquelas abordadas na escola, os alunos fazem previsões a partir de uma intuição pouco científica. Resultados deste tipo parecem fazer crer que as atividades de educação científica na escola não ensinam a modelizar fenômenos. Elas são em geral destinadas a resolução de exercícios (Gil-Perez, 1987). Os modelos que fazem parte dessas atividades são por demasiado simples ou diretos referindo-se quase sempre a produtos acabados, sem menções ao caráter gerativo dos modelos, não propiciando aos estudantes a ocasião de praticar a modelização de fenômenos.

Na ciência existe uma relação muito importante entre construções teóricas em geral, os modelos em particular e princípios. Diversos trabalhos epistemológicos e históricos (Poincaré 1995; Paty, 1993; Einstein, 1998) permitem avaliar o funcionamento deste último como guias heurísticos genéricos na produção científica. Na concepção de Einstein (1950), os princípios são responsáveis pela elaboração de teorias com uma perfeição lógica e fundamentação segura.

Desde a Grécia antiga a busca por princípios de conservação permeava o pensamento de filósofos como Parmênides [540-470 A.C.]. Idéias sobre a conservação de movimento foram palco de debates entre Descartes, Huygens e outros no século XVII, geraram a idéia de *vis viva* de Leibniz e as teorias do *flogístico* e do *calórico*. Tais idéias culminaram com a formulação do Princípio de Conservação de Energia no século XIX. Como resultado da busca de elementos que se conservassem nos processos físicos, pôde-se aproximar campos de estudo que antes do seu aparecimento e amadurecimento eram separados. Assim, dentre os conceitos unificadores, o de Energia parece ser o mais atual e potente (Angotti e Auth, 2001).

(APOIO: Parcialmente financiado pela CAPES.

(Parcialmente financiado pelo CNPq

Princípios qualificam os modelos que podem ser produzidos a partir de uma teoria, ou melhor, apoiam a investigação científica restringindo leis e permitindo a previsão de novos fatos. Em algumas áreas como a física nuclear, a inexistência de teorias gerais acabam por transformar os princípios nos guias maiores para avaliação de modelos teóricos. Na sua prática diária, os cientistas têm confiado nos princípios. São eles capazes de “testar” e “comprovar” teorias científicas sendo a violação deles um fator determinante no fracasso das teorias.

Tomando como base o papel dos princípios de conservação no domínio da ciência física, nossa pesquisa visa investigar seu papel na atividade construtiva e interpretativa dos estudantes. Nosso objetivo é direcionado ao potencial *heurístico* dos princípios na construção de modelos por estudantes do Ensino Médio.

2- Metodologia

Num trabalho anterior (Custódio e Pietrocola, 2000) pudemos entrevistar alunos do Ensino Médio sobre situações envolvendo moto-perpétuos. A maioria esmagadora dos alunos não formulou repostas partindo do/ou valendo-se do Princípio de Conservação da Energia. Este novo trabalho se configura como uma ampliação da pesquisa anterior, onde procuramos entender de que modo os princípios se vinculam com as estratégias para construção de modelos.

Entrevistamos 19 estudantes da terceira série do Ensino Médio da rede de ensino pública e particular de Florianópolis. A opção por alunos da terceira série atribui-se ao fato de que eles já dispõem de uma formação avançada em Física básica e já haviam estudado em algumas situações o Princípio de Conservação da Energia. Estávamos interessados em investigar como os estudantes produzem modelos para explicar situações físicas. Para tanto, partimos da premissa que era possível a explicitação de modelos oralmente ou através de representações gráficas. Os modelos gerados por estudantes, refletem sua carga de conhecimento pessoal, suas representações do mundo físico e são diretamente influenciados pelo contexto no qual se inserem. Neste sentido, adotamos como melhor instrumento de investigação, entrevistas clínicas semi-estruturadas mediante um protocolo versando sobre situações físicas.

As situações continham elementos que exigiam dos estudantes a realização de simplificações e idealizações. Propusemos propositadamente situações o menos idealizadas possíveis, onde a tarefa a ser desenvolvida pelo entrevistado seria a simplificação. Como nosso interesse estava focalizado no papel heurístico dos princípios_ em particular, o Princípio de Conservação de Energia _ as situações apresentadas mereciam ser distanciadas daquelas exemplares encontradas nos livros didáticos. Por exemplo, o *looping* e a montanha russa idealizados são exaustivamente abordadas nos cursos do Ensino Médio. Com isto, os estudantes conseguem, em geral, dar um tratamento matemático aos problemas e abordá-los em termos de conceitos de energia e trabalho.

Nesse sentido, adotamos estratégia similar a utilizada em nosso trabalho anterior (Custódio e Pietrocola, 2000). Refinamos nosso atual instrumento de coleta de dados elaborando um protocolo incluindo questões relativas a elementos mais familiares. Apresentamos um protocolo baseado em duas situações: uma contendo uma adaptação de um desenho de revista em quadrinhos e outra contendo um sistema Lago-Usina hidroelétrica, na forma de um moto-perpétuo. A vantagem em apresentar a situação num contexto informal, diferente do escolar, é que isto encoraja os estudantes a exporem mais suas idéias (Gutierrez e Ogborn, 1993);

Na primeira situação utilizamos o personagem Homem-aranha (Figura 1, em anexo) procurando um contexto familiar. Além da informalidade, os estudantes em geral conhecem o pêndulo, já brincaram de balanço e possuem alguma compreensão sobre ele. Enquanto ferramenta de investigação, esta situação permite um grande número de variantes nas condições iniciais (protocolo - questões de 1 a12). Mas todas elas são reduzíveis a um enfoque simples quando abordadas através do Princípio de Conservação de Energia.

A segunda situação apresentada no protocolo consistia em uma Usina Hidrelétrica (figura 2, em anexo). Baseando-se na máquina criada em 1618 por Robert Fludd, adaptamos o sistema transformando-o em um moto-contínuo. Esta escolha se deve ao fato desta estrutura ser bastante conhecida dos estudantes do Ensino Médio. Além disto, no processo de produção e transmissão de energia elétrica verifica-se quase toda cadeia de transformações possíveis da Energia Mecânica e Eletromagnética. Neste sentido, o aspecto conservação é fundamental para compreensão deste sistema. Novamente, as aplicações dos princípios de conservação pôde ser avaliada sob diversos aspectos (questões de 13 a 15).

Em toda entrevista foi solicitado aos estudantes que justificassem suas respostas. As entrevistas foram gravadas e transcritas para análise.

3- Análise dos resultados

Pelo fato dos estudantes entrevistados serem concluintes do Ensino Médio, o que significa já haverem tido um contato formal, mesmo rudimentar, com o conceito de Energia e o Princípio de Conservação de Energia, esperava-se que o índice de acertos fosse grande. No entanto, os quadros gerais apresentaram resultados divergentes das expectativas.

Os resultados obtidos através das entrevista foram sumarizados em tabelas. As tabelas 1a e 1b apresentam as respostas fornecidas pelos estudantes, positivas (S) ou negativas (N), em relação a cada situação apresentada. Na tabela 1a, à partir de um raciocínio fundamentado no Princípio de Conservação de Energia (PCE), esperava-se respostas negativas para todas as questões. Entretanto, como podemos verificar nenhum estudantes acertou todas as repostas, resultando 34% de respostas positivas (S) e 66% negativas (N). Possivelmente, o percentual de respostas positivas seria maior caso fossem todos os alunos respondessem a todas as questões (quando a resposta à questão 13 era positiva, não eram formuladas as questões 14 e 15 - ver lacunas na tabela 1a)-. Duas questões pressupunham resposta positiva a partir de um raciocínio físico (tabela 1b). Estas questões foram inseridas visando diversificar o protocolo. Neste caso, obtivemos 90 % de respostas positivas (S) (em acordo com o PCE) e 10% negativas (N). Vale ressaltar que, embora o índice elevado de respostas corretas, não implicou a utilização do PCE ou qualquer outro conceito físico de forma correta.

Outro resultado que chama atenção pode ser extraído da tabela 1a, quando observamos que nas questões 6, 7, 12, 13, 14 obtivemos percentuais de respostas positiva(S) (físicamente incorretas) de respectivamente: 53%, 53%, 68%, 53%, 78%. Ou seja, mais da metade dos estudantes responderam de forma equivocada a estas questões. Nas questões 6 e 7 inserimos bastões para interceptar a trajetória do homem-aranha, modificando a estrutura da situação e, conseqüentemente exigindo maior abstração para explicar o que deveria ocorrer. Na questão 12, com a inserção da teia elástica, exigia-se da mesma forma um conjunto de representações mais elaboradas. O mesmo aconteceu nas questões 13 e 14 com a adaptação inicial da hidrelétrica e posteriormente com a inserção da bomba d'água. Em resumo, quando enxertávamos algum elemento menos comum nas situações, os estudantes apresentavam respostas positivas (S) quase de forma unânime. Isto pode ser entendimneto, pois possivelmente estas foram as questões que mais se diferenciam do ambiente escolar.

Com exceção de dois estudantes (Flávia 9% e Gilsani 8%), os demais forneceram respostas positivas (S) em mais de 20% das questões. Alguns estudantes, por exemplo, Jerusa apresentou 64% de respostas positivas (S). Ela recorreu a estratégias pouco vinculadas aos conceitos teóricos desenvolvidos na disciplina de física, respondendo as questões conforme determinações mais perceptíveis. Outras estudantes, Karina(55%), Mariana(55%) e Grasielle(53%), também apresentaram percentuais elevados de respostas positivas (S). Em geral, todos estudantes apresentaram padrões de construção de modelos explicativos totalmente destituídos do PCE.

Através das fitas de áudio, as estratégias dos estudante foram analisadas e classificadas em seis categorias distintas conforme os argumentos apresentados, a saber: Energia, impulso, cinemática, pseudo força, simetrias, analogias.

Na tabela 3 procuramos mostrar qual destes modelos era utilizado com maior ênfase em cada questão pelos estudantes. Porém, ao que parece a maioria dos alunos não recorreu a uma única estratégia para responder uma certa questão. Nem, uma certa questão priorizou o uso de uma certa estratégia pelos estudantes.

A seguir discutiremos em maiores detalhes os modelos utilizados pelos estudantes nas suas respostas.

3.1- Categorias de repostas

- Incluindo estes as repostas das (S) das questões 13 e 14 o percentual destas respostas sob para 40%.

I- Energia. O termo/conceito de energia foi pouco utilizado nas justificativas dadas pelos estudantes para as questões. Como podemos verificar na tabela 2, apenas 5 estudantes fizeram recorrência a este conceito. Em geral, as estratégias apresentadas baseavam-se nas transformações entre energia potencial gravitacional, energia cinética e energia potencial elástica. Entretanto, tais transformações diferentemente do ponto de vista científico, não eram regidas pelo Princípio de Conservação de Energia. Ou seja, a energia era aceita como uma grandeza passível de transformação, mas o vínculo entre tipos de energia não estabelecia que houvesse conservação da quantidade de energia no sistema.

Vejamos, por exemplo, a justificativa dada por Cecília para Questão 1. Quando perguntou-se se o homem-aranha conseguiria atingir o topo do prédio C, ela respondeu:

Depende da energia potencial armazenada. Porque se ele tiver pouca energia não consegue chegar sobre o prédio C. O mesmo acontece nas outras posições depende da energia armazenada... O homem-aranha tem energia potencial armazenada... com a descida ele aumenta a velocidade e obtém energia cinética.

Cecília utiliza o modelo das transformações de energia como subsídio para uma resposta negativa na Questão 1 (ver tabela 1a). Entretanto, utiliza a mesma argumentação para fornecer uma resposta positiva na Questão 4 (ver tabela 1a). Questionada se o homem-aranha conseguiria chegar sobre o prédio C lançando sua teia no mastro 2, ela diz:

O ponto onde foi lançada a teia está mais próximo do prédio C. Então como o comprimento da teia é maior, o homem-aranha passa mais tempo transformando energia potencial em cinética com isto alcançaria o topo do prédio C.

Neste argumento, parece claro que as idéias de transformações de energia propostas compartilham somente em parte os pressupostos científicos. Ao declarar que haveria transformação de energia potencial em energia cinética por mais tempo, Cecília expressa que as conversões de energia ocorrerem de forma desconectada de qualquer princípio de conservação. Para ela, a variável tempo seria preponderante nas transformações de energia ocorridas no sistema: maior tempo para completar a trajetória significaria maior “produção” de energia em uma forma capaz de movimentar o homem-aranha até o topo do prédio C. Porém, como sabemos o Princípio de Conservação de Energia determina algo na direção contrária, ou seja, desprende a compreensão da evolução do sistema de uma análise temporal, na medida em que para um sistema isolado a quantidade de energia é constante.

Um outro aspecto detectado nas entrevistas revela que as transformações de energia também podem propiciar espécies de “bônus de energia armazenada” ao sistema. É o caso da justificativa apresentada por Eduardo para Questão 12 sobre a teia elástica:

O elástico acumulou energia... e quando começou a subir toda a energia que o elástico acumulou a tendência é liberar esta energia, o que vai levar o homem-aranha sobre o prédio C.

Implicitamente, Eduardo leva em consideração as transformações de energia de maneira unilateral. Ele afirmar corretamente que haverá um acúmulo de energia na teia na forma potencial elástica. Contudo, conclui equivocadamente que tal energia possa ser utilizada deliberadamente sem necessidade de transformação de toda energia acumulada no momento da subida do homem-aranha.

Um outro aspecto relatado sobre o conceito de energia está relacionado com a criação espontânea de energia em um sistema fechado. Para alguns estudantes, a idéia de criação de energia em ciclos fechados é bem plausível.

Joice, respondendo a Questão 14 (bomba d’ água) expressa seu ponto de vista dizendo:

... vai ter alguma coisa ajudando a água a subir, passando pela canaleta e voltando sempre pelo mesmo caminho. Irá sempre passar água pela turbina e terá sempre energia para manter a bomba ligada a água irá ficar passando e o reservatório estará sempre cheio.

O argumento comum nestas respostas denota a falta da idéia de conservação de energia. De forma similar nas outras questões, a argumentação construída é baseada independentemente nas transformações de energia. A bomba d'água é vista como um elemento externo capaz utilizar a energia elétrica produzida pela hidrelétrica para puxar a água até a canaleta. Entretanto, os estudantes não estão atentos ao fato que durante o processo, a energia elétrica transformada em energia mecânica deverá ser no mínimo igual a energia transferida pela água para a turbina.

Rafael e Grasielle, ao darem uma resposta positiva a Questão 14, adicionam as seguintes afirmações, respectivamente:

...era preciso uma bomba bem eficiente.

...se gastaria energia, teria que se inventar um sistema que consumisse pouca energia.

Eles acreditam que a bomba d'água possa “gerar” mais energia mecânica do que a energia elétrica “consumida” para alimentar a bomba. A noção de eficiência estaria vinculada a uma espécie de relação “geração/consumo” que possa ser maior do que 1. Esta linha de raciocínio revela o quão pejorativo são as palavras geração e consumo, num universo onde queremos sublinhar as transformações de energia e, principalmente, a conservação de energia como ferramenta essencial na construção de modelos.

II- Impulso. Uma outra estratégia elaborada pelos estudantes consistia em fazer uso do conceito de impulso. Não houve a preocupação durante as respostas em precisar o conceito. Algumas das afirmações faziam menção correta aos cânones científicos, outras porém, faziam referência ao conceito seguindo idéias intuitivas de impulso como um agente que empurra um elemento do sistema ou parte dele, causando (ou facilitando) o seu movimento. Não raramente a palavra impulso surgia como única alternativa para a interpretação física da situação

apresentada, de tal maneira que as respostas, positivas ou negativas, limitavam-se as afirmações sobre a presença ou não de impulso.

Estas considerações aparecem na resposta positiva de Ângela à Questão 12 (teia elástica). Ela justifica com o seguinte argumento:

...ele vai conseguir impulso. A teia vai esticar e chegando no ponto mais baixo irá voltar... daí o homem-aranha vai pegar o impulso e alcançar o topo do prédio C.

Respostas deste tipo indicam que a base das argumentações encontra-se ligada à existência de impulso “facilitador” do movimento, um agente capaz de empurrar o homem-aranha. De fato, esta é uma idéia bem presente no cotidiano e bastante veiculada pelos meios de comunicação, principalmente em comerciais de calçados.

Em um outro extrato de entrevista, Ana Paula tenta justificar uma resposta positiva na situação em que o homem-aranha tem sua trajetória interceptada por um bastão no ponto E:

...eu acho que vai haver um impulso e o homem-aranha vai chegar ao topo do prédio C.

A justificativa plausível a esta questão contradiz o argumento de um impulso capaz empurrar o homem-aranha. Entretanto, com frequência detectamos tal argumento. Este mesmo recurso ou outros similares foram utilizados por outros 4 estudantes (Francys, Juliana, Carolina, Joice). Todos eles, interpretavam a interação entre a teia e os bastões como uma ação que permitiria, além de modificar a trajetória do homem-aranha, impulsioná-lo, facilitando seu movimento. A verdade é que na maioria das vezes, o impulso é visto como algo “positivo” para o movimento dos objetos do sistema.

Acrescentamos ainda a esta categoria, respostas que utilizam em seus argumentos a necessidade de um agente material que empurre um elemento do sistema, sem necessariamente haver menção explícita à palavra impulso. Tal inserção, justifica-se pela similaridade entre esta concepção e a apresentada anteriormente. Isto permite enquadrar respostas vinculadas a idéia de empurrar nesta categoria.

Por exemplo na Questão 13 sobre o retorno de toda água ao reservatório, Francys diz:

Com o resto da água que vai empurrar ela irá conseguir retornar.

De acordo com este tipo de raciocínio, o movimento de uma massa de água seria decorrente do empurrão de uma massa subsequente. Este modelo com certeza não respeita, as conservações de energia e momento linear. No momento inicial, como podemos analisar, a quantidade de água que desce o conduto contaria com um decréscimo em sua energia cinética e momento linear, devido a interação com a turbina. Isto permitiria a ela chegar a uma altura inferior a da canaleta. Posteriormente, é possível admitir a existência destes “empurrões” devido as diferenças de pressões na parte superior do reservatório e na extremidade da canaleta. Entretanto, o resultado final seria uma situação estática e não dinâmica como a suposta, pelo fato das pressões nas extremidades serem iguais.

III- Cinemática. Muitos estudantes elaboraram modelos para as suas justificativas baseando-se em descrições cinemáticas dos movimentos. Estas descrições tinham como critério inferências sobre a velocidade ou aceleração dos objetos. Em situações mais simples, como as apresentadas nas questões de 1 a 6, o uso desta estratégia foi bastante empregado. Para os estudantes não importava como ou porque um elemento do sistema iria adquirir velocidade ou aceleração, consequentemente suas descrições eram em geral superficiais, limitadas a estes conceitos mais próximos da sua experiência sensorial.

Flávia, respondendo às Questões 1 (posição 1) e 4 (mastro 2), expressa sua opinião dizendo:
O homem-aranha não vai ter velocidade para chegar até o topo do prédio C... chegaria mais ou menos até a altura do prédio A e voltaria.
O homem-aranha chega na mesma altura em que ele saiu por causa da velocidade.

Apesar das respostas serem corretas (negativas), tal análise delega ao conceito de velocidade um status muito mais de “causa” do que “efeito”. Parece haver uma inversão de papéis, a velocidade do homem-aranha diminuiria fazendo sua energia cinética diminuir, e não o contrário. A conservação da energia exige que, ao aumento da energia potencial do homem-aranha, haja um decréscimo em sua energia cinética e, consequentemente, em sua velocidade. Além disto, a similaridade de algumas das questões apresentadas com situações já vivenciadas pelos o estudantes (por exemplo, o pêndulo na Questão 1) permitiu a realização de inferências preditivas sobre o sistema baseadas nestes conhecimentos. As pessoas em geral, tem noção do que seja velocidade, sabem que um corpo fora do repouso necessariamente possui velocidade. Ao trafegarem em qualquer meio de transporte, tem contato com marcadores de velocidade e placas que determinam a velocidade máxima permitida. Antes mesmo do contato formal com a disciplina de física os adolescentes já fazem uso deste conceito diariamente. A velocidade é um conceito bastante difundido e próximo da capacidade de abstração dos indivíduos em geral. Desta maneira, identificar se um elemento do sistema possui ou não velocidade é tarefa simples. Desta forma, as justificativas fundamentam-se mais em descrever quando um elemento tem velocidade ou quando não tem, do que explicar o que está acontecendo. **Opta-se por descrever no lugar de explicar!**

Em um outro extrato de entrevista (na Questão 15), Ana Paula justifica porque apenas 10% da água poderiam retornar ao reservatório:

Eu acho que a água irá perder velocidade ... mas [se] a quantidade de água é menor ela pode subir até a canaleta e retornar ao reservatório.

Nesta sentença, Ana Paula expressa uma relação entre a velocidade e a quantidade de água que passa pelos condutos. Seu pensamento evidência uma idéia de compensação entre velocidade e quantidade de massa. Ao interagir com a turbina ela admite uma redução da velocidade de toda massa de água que por ali passa. Porém, esta redução seria compensada pelo fato de que é apenas 10% desta água que deveria retornar ao reservatório. Haveria uma falsa conservação de momento linear desta massa de água, baseada nesta relação. O erro consiste em não observar que esta massa de água também participa da interação.

IV- Pseudo força. Durante as entrevistas os estudantes também valeram-se da palavra força. Queremos ressaltar que muitas vezes esta palavra não pôde ser identificada com o conceito de força cientificamente aceito. Nestes casos, a idéia de força expressava algo como esforço, o “fazer força” da linguagem coloquial. Em outros casos, se aproximava muito do conceito histórico de *força impressa* ou *impetus*, na qual um corpo em movimento possui algo intrínseco ao seu movimento que é mantido, a menos que o corpo sofra alguma oposição ao seu movimento (ver McCloskey, 1983).

Por exemplo, Gilsani, na Questão 1 quando perguntada se o homem-aranha se o conseguiria chegar ao topo do prédio C, ela respondeu:

Quando o home-aranha sai de uma posição mais baixa ele não consegue alcançar o topo do prédio C. Porque ele não vai ter força para se manter em movimento.

Nesta sentença fica claro a crença do estudante que o movimento é mantido pela força impressa ao homem-aranha. A idéia que um elemento movimento fica mais lento e pára pela dissipação da força também pode ser observada nas afirmações dos estudantes. Por exemplo, Grasielle quando requisitada a explicar uma resposta negativa para Questão 13 sobre o retorno de toda água ao reservatório, ela replicou:

Após passar pela turbina a água vai mais devagar, não tem mais força suficiente... o contato com a turbina gastou parte desta força.

A alegação de Grasielle que a água vai mais devagar devido ao atrito com a turbina reduzindo a força é clara. Tais argumentos, são inconsistentes com a física clássica.

Um outro aspecto relatado, demonstra a relação direta entre o conceito de força e o movimento. Para alguns estudantes, força era vista como um agente que causava o movimento, ou seja, o movimento necessitava da presença de uma força, bem como a presença de forças envolvia a necessidade de movimento.

Alguns estudantes, implicitamente, empregaram o conceito de força com status de energia, atributos do conceito de energia, como a sua capacidade de assumir formas potencial, cinética, etc, foram utilizados confusamente na interpretação das situações apresentadas.

V- *Simetrias*. Com frequência, os estudantes conduziram suas explicações baseando-se nas características geométricas das situações apresentadas (distâncias, ângulos, raio etc.). Muitas das respostas exprimiam a idéia de que qualquer acontecimento no sistema poderia ser explicados mediante a simetria das características geométricas do sistema (mesmas distância, mesmos ângulos etc.).

Respondendo à Questão 1, Everton (posição 1) expressa sua concepção dizendo:

O homem-aranha chegaria no mesmo nível. Na mesma altura. Por causa do ângulo que ele está fazendo... a teia deve fazer o mesmo ângulo para o outro lado.

Eduardo, na mesma questão, justifica uma resposta negativa. Ele afirma que:

... a tendência do homem-aranha é chegar no máximo a mesma [altura]... porque faz o mesmo ângulo.

Grasielle, respondendo as Questões 1 (posição 1), 4 (mastro II), 5 (mastro III), utiliza argumentos similares:

...tem um certo ângulo que deve ser respeitado... além disto, depende também das distâncias e do ponto de apoio da teia.

Os estudantes incluídos nesta categoria basearam-se no ângulo descrito pela teia durante a trajetória do homem-aranha para suas argumentações. Possivelmente, a falta de um modelo capaz de explicar o que estava acontecendo induziu os estudantes a apoiarem-se na geometria da situação. Observações deste tipo são, a nosso ver, uma estratégia cognitiva fértil. Entretanto, não permitem fazer previsões em situações de maior complexidade e nem sempre são permitidas, pois não há garantia sobre a validade das simetrias. Um raciocínio baseado em simetrias pode produzir respostas corretas em uma situação, mas quando transportado para um outro contexto mais abstrato, será falho.

Nossa opinião é corroborada pela análise de questões cujo grau de complexidade é maior. Estes três estudantes, quando questionados se o homem-aranha conseguiria alcançar o topo do prédio C, colocando-se um bastão para interceptar sua trajetória na posição D, dizem respectivamente:

O homem-aranha iria subir mais. A trajetória dele está sendo modificada. Quando diminui a teia muda a direção e faz com que ele vá mais alto.

...a tendência é que homem-aranha vá mais alto... ele poderia chegar até a mesma altura do prédio A. Com o bastão ali o comprimento da teia diminui e tende a ir mais alto.

O percurso não vai ser tão grande... por isso ele chega no topo do prédio C.

Os estudantes valiam-se de uma espécie de 'princípio de simetria', pois onde as simetrias eram quebradas deveria haver alguma compensação. Segundo este argumento, a teia ao ser interceptada pelo bastão

mudaria a direção da trajetória que normalmente seria percorrida, o que de fato é correto. Entretanto, como o ângulo a ser descrito não era mais o mesmo, o deslocamento seria menor e haveria uma compensação na geometria do problema resultando no alcance de uma altura maior do que a do ponto de partida do homem-aranha.

Um outro ponto que chamou nossa atenção surgiu quando modificamos o ponto onde a teia seria apoiada na Questão 4(mastro II). Os estudantes afirmaram que o homem-aranha conseguiria alcançar o topo do prédio C e justificaram suas respostas com alegações que tratavam da proximidade entre o ponto de apoio da teia e o prédio C. Por exemplo, Cecília diz que:

... com o mastro mais próximo do prédio C o homem-aranha conseguiria alcançar mais alto.

Tatiane, uma outra estudante, tem a mesma opinião:

... o mastro está mais próximo do prédio C , o homem-aranha irá alcançar uma altura maior do eu a do prédio A.

Este argumento é compartilhado ainda por outros 7 estudantes. Eles parecem acreditar novamente em uma compensação. Na medida em que um fator geométrico do problema foi alterado, a quebra da simetria acarretaria um ganho de outro lado, permitindo ao homem-aranha alcançar o topo do prédio C.

VI- Analogias. No decorrer das entrevistas, verificamos também a freqüente recorrência a analogias nas justificativas dos estudantes para as respostas. Quando não conseguiam explicar, ou desejavam elaborar melhor suas respostas, os estudantes interpretavam as situações propostas com exemplos de fenômenos tirados da sua vivência diária. Flávia, respondendo à questão 4 na qual o homem-aranha lança sua teia no mastro II, enfatiza seu ponto de vista com uma analogia envolvendo o movimento de uma bola em um círculo. Para ela, a observação do comportamento da bola seria indicativo que na situação apresentada o homem-aranha não alcançaria o topo do prédio C. Ela diz:

... qualquer coisa que a gente joga vai na mesma altura... se a gente pega uma bola e põe em um círculo e joga, ela vai na mesma altura de onde jogamos depois volta... ou chega um pouco menos depois volta.

Sua argumentação sustenta o fato que o comportamento da bola em movimento em um círculo, mostra a seguinte relação entre as alturas de partida e chegada: ‘a bola não chega em uma altura maior do que partiu do repouso’. Ela extrai da observação subsídios para rechaçar a possibilidade do homem-aranha alcançar o topo do prédio C.

Jerusa, uma outra estudante, acredita na possibilidade de toda água voltar ciclicamente mantendo o reservatório da hidrelétrica sempre cheio. Ela justifica sua resposta positiva comparando a situação com vasos comunicantes:

...Vai haver um ciclo... continuará sempre o mesmo ciclo... é como vasos comunicantes.

Na mesma questão, Nádia usa uma analogia com o movimento de um carrinho de montanha russa. De acordo com seu argumento, a água poderia retornar ao reservatório, pois seu movimento seria similar ao de um carrinho de montanha russa:

...podemos imaginar um carrinho de montanha russa. Ele desce uma certa altura e sobe com uma certa velocidade... o mesmo acontece com a água.

Nas duas últimas sentenças, verificamos que as analogias são estruturadas também em fenômenos tratados na disciplina de física. Entretanto, não é feita nenhuma restrição as condições que permitem importar estes conhecimentos de outros contextos para situações apresentadas. Em outras palavras, nem todo o conhecimento sobre vasos comunicantes ou ‘montanhas russa’ é conveniente para analisar a situação da hidrelétrica e especificamente, a descrição feita sobre ela. O uso de modelos analógicos torna-se uma estratégia perigosa para os estudantes quando entendido como identidade literal.

Contudo, muito estudantes utilizaram-se deste recurso. Sete estudantes fizeram uso explícito de analogias em suas justificativas.

Possivelmente, os estudantes que fizeram apelo às analogias careciam de um conhecimento teórico eficaz para analisar as situações apresentadas. Em suas respostas além da estrutura relacional entre os objetos, na maioria das vezes a analogia admitia o mero traslado de propriedades observacionais dos objetos nos diferentes contextos. De modo que, as respostas pareciam mais um método evasivo do que construtivo. Ou seja, evitava-se adentrar nas especificidades da situação pela apresentação de analogias.

4- Considerações finais

Em situações um pouco diferenciadas daquelas usualmente analisadas na disciplina Física, os estudantes utilizam toda sorte de esquemas intuitivos. A pluralidade de enfoques é resultado de um amálgama entre as concepções alternativas e as concepções científicas tratadas na escola. Os modelos foram produzidos sem a existência de guias e acabaram como o resultado de um processo “self service”, onde os estudantes buscavam no arsenal conceitual aquilo que no momento lhes parecia mais adequado.

Contudo, a pluralidade de enfoques não é em si algo ruim, pois denota imaginação e criatividade, atributos essenciais na construção de modelos, como afirma Bunge (1974). Entretanto, é preciso que guias sejam fornecidos para que o processo de construção se dê dentro de padrões aceitáveis pela ciência.

O resultado mais surpreendente nesta pesquisa, foi a falta de menção explícita tanto quanto implícita, do Princípio de Conservação de Energia. Em toda análise de resultados não detectamos, nenhum argumento plausível, que pelo menos desse indícios da presença do PCE, nos modelos construídos pelos estudantes.

Na perspectiva de evidenciar a função explicativa e interpretativa do conhecimento teórico, atentamos para o fato que o papel dos princípios no Ensino Médio está sendo subestimado ou, mais alertante, não vem sendo enfatizado nem nos livros didáticos e nem pelos professores. Contrastando com a posição privilegiada que os princípios desempenham no contexto científico, no contexto escolar eles são utilizados como meros instrumentos para a resolução de problemas artificialmente formulados. Em tais atividades acabam por se resumir a algumas estratégias empregadas na busca de solução de problemas padrões. O Princípio de Conservação de Energia acaba por ser identificado com problemas do tipo, “montanha russa”, “looping” e eventualmente pêndulo. Assim, seguindo a orientação proposta nos diversos livros didáticos, os professores do Ensino Médio não ressaltam a relevância dos princípios como determinantes das possibilidades, simplificações e limitações na interpretação de um dado sistema físico. No contexto escolar, os princípios não possuem operacionalidade na interpretação de situações diferentes daquelas propostas nos livros didáticos.

O tratamento indiscriminado das transformações de energia pelos estudantes, como apontam os resultados acima, é um exemplo de práticas que não revelam idéias de conservação. Em geral, as transformações de energia são apresentadas como uma necessidade do sistema em mudar de uma energia potencial (que não realiza trabalho mecânico) para uma energia cinética (que pode realizar trabalho mecânico). A princípio, definem-se os tipos de energia e baseado neste caráter das transformações diversas, situações mecânicas podem ser analisadas. Tal procedimento não dá suficiente ênfase ao papel da conservação da energia nos processos de transformação. Em decorrência disto, não é um raciocínio incomum aos estudantes que as transformações “gerem” ou “acumulem” energia extra.

O ensino de física acaba sendo um mero fornecedor de arsenal conceitual, sem trabalhar adequadamente os critérios para aplicação dos mesmos. Neste sentido, acreditamos ser necessário a inserção no ensino de atividades modelizadoras com o uso heurístico de princípios. No papel de guias *heurísticos*, os princípios participariam dos modelos dos estudantes permitindo além de explicar determinadas situações físicas, selecionar quais são os modelos possíveis.

5- Bibliografia

Angotti, J. A. P. e Auth, M. O processo de ensino/ aprendizagem com aporte do desenvolvimento histórico de universais: a temática das combustões. UFSC. Florianópolis, SC, 2001.

- Borges, A. T. **Como evoluem os modelos mentais**. Ensaio, vol.1, n.1, pp. 85-125, 1999.
- Bunge, M. **Teoria e realidade**. São Paulo: Perspectiva, 1974.
- Custódio, J. F. e Pietrocola, M. **Princípios físicos e construção de modelos**. VII EPEF (Encontro de Pesquisa em Ensino de Física), Florianópolis/SC, Abril, 2000.
- Einstein, A. **Out of my later years**. New York: Philos. Library, 1950.
- _____. **Como vejo o mundo**. São Paulo: Círculo do Livro Ltda, 1998.
- Gentner, D. & Stevens, A. L. (eds). **Mental models**. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1983.
- Gilbert, J.K e Boulter, C.J. **Aprendendo ciências através de modelos e modelagem**. In: Modelos e educação em ciências. Colinvaux, D. (org). Rio de Janeiro: Ravil, 12-34, 1998.
- Gil-Pérez, D. **Differences entre “modeles spontanés”, modeles enseignes et modeles scientifiques: quelques implications didactiques**. A. Giordan, J. L. Martinand, Actes JES, 9, 1987.
- Gutierrez, R. e Ogborn, J. **A casual framework for analysing alternative conceptions**. IJSE, vol 14, n. 2, 201-220, 1992.
- Jonhson-Laird, P. N. **Mental models**. Cambridge: Cambridge University
- McCloskey, M. **Naive theories of motion**. In: Mental models. Gentner, D. & Stevens, A. L. (eds). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1983.
- Paty, M. 1993, **Einstein philosophe: la physique comme pratique philosophique**. Paris: Presses Universitaires de France, 1993.
- Pietrocola, M. **Construção e Realidade: o realismo científico de Mário Bunge e o ensino científico através dos modelos**. Investigação em Ensino de Ciências, vol(4), n.3, 1999.
- Pietrocola, M. e Zylberstajn, A. **The use of the Principle of relativity in the interpretation of phenomena by undergraduate physics students**. Science and Education, vol. 21, n(3, 261-276, 1999.
- Pinheiro, T. F. **Aproximação entre a ciência do aluno na sala de aula da 1ª série do 2º grau e a ciência dos cientistas: uma discussão**. Dissertação de mestrado. UFSC. Florianópolis, SC, 1996.
- Poincaré, H. **O valor da ciência**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1995.

6- Anexos

Tabelas -

Tabela 1a. Respostas para as questões - As respostas fisicamente corretas para as questões seriam “não”.

Nomes/ Questões 1 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 Total de S Total de N Total de S (%) Total de N
 (%) Rafael N N N S S S N N N N N S N 4 9 30 70 Eduardo N S N N S S S N N N S N N S 5 8 38 62 Francys N N N S S N N N N N S 3 8 27 73 Cecília N S N N N N N N N N S N S N 3 10 23 77 Ângela S S S N N N N N N S S 5 6 45 55 Maira N S S N N N N N N N S S 4 7 36 64 Ana Paula N S N S N N N N N N S N S N 4 9 30 70 Flávia N N N N N N N N N N S 1 10 9 91 Nádia N N N S N N N N S S S 4 7 36 64 Everton N N N S S N N N N S S S S 5 8 38 62 Juliana N N N N S N N N N S S 3 8 27 73 Carolina N N N S S N N N N N N N N 2 11 15 85 Grasiele S N N S S S N N S S N S N 7 6 53 47 Tatiane N S N N N N N N N S S 3 8 27 73 Gilsani N N N N N N N N N N S N 1 12 8 92 Karina N N S S S S N N N S S 6 5 55 45 Jerusa S S S S S S N N N N S 7 4 64 36 Mariana S S N S S S N N N N S S 6 5 55 45 Joice N S N N N N N N S N S N 3 10 23 77 Total de S por questão 4 9 4 10 10 5 0 0 2 13 10 7 2 76 151 34 66 Total de N por questão 15 10 15 9 9 14 19 19 17 6 9 2 7 76 151 34 66 Total de S por questão (%) 21 47 21 53 53 26 0 0 10 68 53 78 22 Total de N por questão (%) 79 53 79 47 47 74 100 100 90 32 47 22 78

Tabela 1b. Respostas para as questões

Nomes/ Questões 2 3 Total de S Total de N Total de S (%) Total de N
 (%) Rafael S S 2 0 100 0 Eduardo S S 2 0 100 0 Francys S S 2 0 100 0 Cecília S S 2 0 100 0 Ângela S S 2 0 100 0 Maira S S 2 0 100 0 Ana Paula S S 2 0 100 0 Flávia S S 2 0 100 0 Nádia N N 0 2 0 100 Everton S S 2 0 100 0 Juliana S S 2 0 100 0 Carolina S S 2 0 100 0 Grasiele S S 2 0 100 0 Tatiane S S 2 0 100 0 Gilsani S S 2 0 100 0 Karina S S 2 0 100 0 Jerusa S S 2 0 100 0 Mariana S S 2 0 100 0 Joice N N 0 2 0 100 Total de S por questão 17 17 34 4 90 10 Total de N por questão 2 2 34 4 90 10 Total de S por questão (%) 10 10 Total de N por questão (%) 90 90 - As respostas fisicamente corretas para as questões seriam “sim”.

Tabela 2. Modelos dos estudantes

Nomes/modelos *I Energia* *II Impulso* *III Cinemática* *IV Pseudo força* *V Simetrias* *VI Analogias* Rafael_q1, q2, q3, q14_q1, q2, q3_q1, q2, q3, q12_q1, q2, q3, q6, q7, q8, q9, q10, q11, q12_q1, q2, q3 Eduardo_q12, q14_q12_q1, q3, q6, q7,q8,q11, q13_q1, q4, q6,q7,q8_q1, q7, q13 Francys_q7, q13_q1, q2, q3, q4_q4, q6, q7, q11, q13_q1, q2, q3, q4 Cecília_q1, q2, q3, q4, q13,q14,q15_q1, q12_q4_q6 Ângela_q12_q1, q2, q3, q6, q13_q4, q5 Maira_q1, q2, q3, q4, q12_q4 Ana Paula_q6, q7, q11, q12_q13, q15_q1, q13_q4 Flávia_q1, q2, q3, q4, q6_q4 Nádia_q1, q2, q5, q11, q12, q13_q13_q1_q13 Everton_q5, q12_q5_q13_q1, q2, q3, q4, q6 Juliana_q1, q7, q12_q1, q4, q6, q7_q1, q7 Carolina_q4, q6, q12_q1, q13_q12 Grasielle_q13, q14_q13_q6, q7, q13_q12, q13_q1, q5, q6_q13 Tatiane_q1, q12_q5_q4 Gilsani_q5, q6_q1, q2, q3, q7, q13_q1 Karina_q3 Jerusa_q13_q11_q1_q4_q13 Mariana_q12_q11_q4 Joice_q14_q7, q12_q1, q6, q7, q13_q1_q4 Número de estudantes que utilizaram o modelo_5_14_14_14_15_7_ q1- questão 1; q2- questão 2; etc.

Tabela 3. Modelos dos estudantes para cada questão

Nome/ Questões 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 *Modelos utilizados pelos estudantes* Rafael (1), (3), (4), (5), (6) (1), (3), (4), (5), (6) (1), (3), (4), (5), (6) (5) (5) (5) (5) (5) (4), (5) (1) 5 Eduardo (4), (5), (6) (4) (5) (4), (5) (4), (5), (6) (4), (5) (4) (1), (2) (4), (6) (1) 5 Francys (3), (5) (3), (5) (3), (5) (3), (4), (5) (4) (2), (4) (4) (2), (4) (4) (2), (4) (4) (1) (1) (1), (4) (6) (4) (1) (1) (1) 3 Ângela (3) (3) (3) (5) (5) (3) (2) (3) 3 Maira (2) (2) (2) (2), (5) (2) (2) 2 Ana Paula (4) (5) (2) (2) (2) (2) (3), (4) (3) 4 Flávia (3) (3) (3) (3), (6) (3) 2 Nádia (2), (5) (2) (2) (2) (2) (2) (2), (4), (6) 3 Everton (5) (5) (5) (5) (2), (3) (5) (2) (4) 4 Juliana (2), (3), (4) (3) (3) (2), (3), (4) (2) 3 Carolina (3) (2) (2) (2), (4) (3) 3 Grasielle (5) (5) (3), (5) (3) (4) (1), (2), (3), (4), (6) (1) 6 Tatiane (2) (5) (3) (2) 3 Gilsani (4), (5) (4) (4) (3) (3) (4) (4) 3 Karina (3) 1 Jerusa (4) (5) (3) (2), (6) 5 Mariana (5) (4) (2) 3 Joice (3), (4) (5) (3) (2), (3) (2) (3) (1) 5 (1) - Energia; (2) - Impulso; (3) - Velocidade/aceleração; (4) - Pseudo força, (5) - Uso de simetrias, (6) - Uso de analogias

Protocolo de entrevistas

Situação 1

O homem-aranha está em uma perseguição ao vilão duende macabro que acaba de cometer um crime. Lançando sua teia a um mastro de bandeira preso ao edifício B ele pretende alcançar seu inimigo. Discuta a possibilidade de realizar tal idéia, nos seguintes casos:

Questão 1: (Posição I)- Partindo do repouso na posição I o homem-aranha consegue chegar sobre o prédio C?

Questão 2: (Posição II)- Partindo do repouso na posição II o homem-aranha consegue chegar sobre o prédio C?

Questão 3: (Posição III)- Partindo do repouso na posição III o homem-aranha consegue chegar sobre o prédio C?

Questão 4: (Mastro II)-Lançando a teia ao mastro II, o homem-aranha alcançaria o topo do prédio C partindo da posição I?

Questão 5: (Mastro III)- Lançando a teia ao mastro III, o homem-aranha alcançaria o topo do prédio C partindo do repouso na posição I?

Questão 6: (Bastão no ponto D)- Colocando-se um bastão de ferro no ponto D para interceptar a trajetória do homem-aranha, ele conseguira alcançar o topo do prédio partindo do repouso na posição I?

Questão 7: (Bastão no ponto E)- Colocando-se um bastão de ferro no ponto E que intercepte a trajetória do homem-aranha, ele conseguira alcançar o topo do prédio partindo do repouso na posição I?

Questão 8: (Bastão no ponto F)- Colocando-se um bastão de ferro no ponto F que intercepte a trajetória do homem-aranha, ele conseguira alcançar o topo do prédio partindo do repouso na posição I?

Questão 9: (Bastão no ponto G)- Colocando-se um bastão de ferro no ponto G que intercepte a trajetória do homem-aranha, ele conseguira alcançar o topo do prédio partindo do repouso na posição I?

Questão 10: (Bastão no ponto H)- Colocando-se um bastão de ferro no ponto H que intercepte a trajetória do homem-aranha, ele conseguira alcançar o topo do prédio partindo do repouso na posição I?

Questão 11: (Bastão de borracha)- Colocando-se um bastão de borracha nos pontos supracitados que intercepte a trajetória do homem-aranha, ele conseguira alcançar o topo do prédio partindo do repouso na posição I?

Questão 12: (Teia elástica)- Utilizando uma teia de elástico o homem-aranha conseguiria alcançar o topo do prédio C partindo do repouso na posição I?

Situação 2

O sistema descrito na figura foi criado para produção de energia elétrica em regiões planas, ou onde não há rios, ou regiões com pouca incidência de chuvas. Ele inclui um imenso reservatório de água. A energia é gerada e distribuída conforme o esquema.

Questão 13: (Retorno contínuo de toda água ao reservatório)- Seria possível canalizar toda água que passa pela turbina fazendo com que ela retorne continuamente ao reservatório, mantendo-o sempre cheio?

Questão 14: (Bomba d' água)- Caso não seja possível conduzir a água espontaneamente, seria possível conectar um bomba d'água a própria rede elétrica forçando a água retornar continuamente ao reservatório mantendo-o sempre cheio?

Questão 15: (Retorno contínuo de 10% da água escoada) Caso não seja possível conduzir toda a água, seria possível conduzir apenas 10 % de toda água escoada, espontaneamente e continuamente ao reservatório mantendo-o sempre cheio?

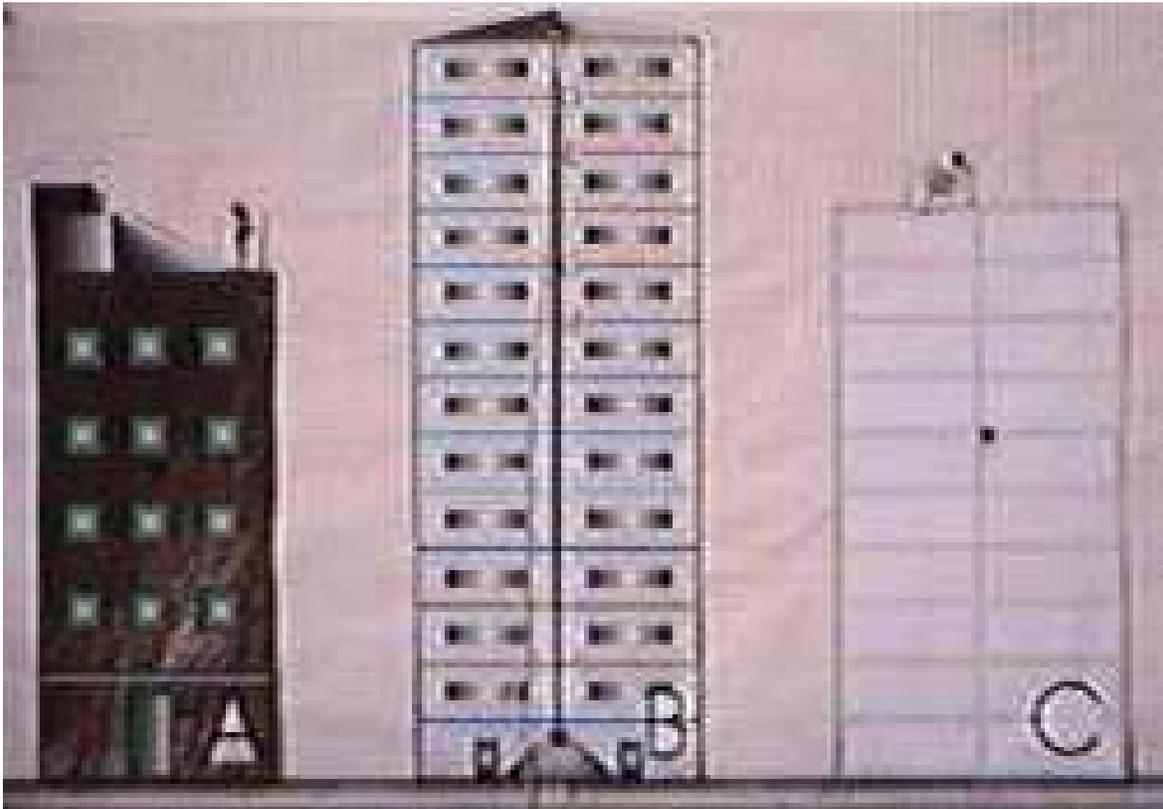


Figura III.1

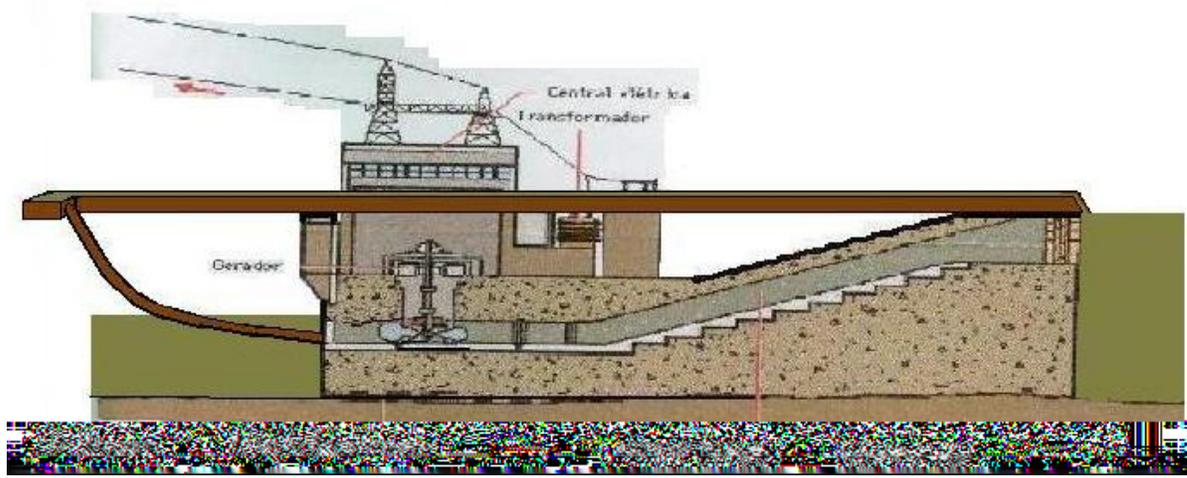


Figura III.1