

---

# DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA HIPERMÍDIA PARA FACILITAR A REESTRUTURAÇÃO CONCEITUAL EM MECÂNICA BÁSICA

---

*Flávia Rezende*

Laboratório de Tecnologias Cognitivas – NUTES/UFRJ  
Rio de Janeiro - RJ

## **Resumo**

*A hipermídia, sendo um meio de processar a informação conjugando vários tipos de mídia, como textos, imagens, animações, vídeos e áudios, apresenta um potencial específico para o ensino de Física, tornando possível a simulação de fenômenos físicos, além de trazer a possibilidade de reflexão por parte do estudante, de consideração ao seu estilo cognitivo e às suas concepções espontâneas. Aproveitou-se esse potencial para desenvolver um sistema hipermídia, denominado “Força&Movimento” (F&M), que lida com dificuldades conceituais dos estudantes, levantadas a partir da aplicação de um teste de Mecânica (Hestenes et al., 1992) a calouros da UFRJ. O sistema comporta a navegação não-linear característica de sistemas hipermídia (Spiro et al., 1992) e a navegação guiada, disponível em algumas seqüências de telas que procuram modelar uma proposta teórica de desenvolvimento conceitual (diSessa, 1988). Estudantes universitários utilizaram esse material sob condições sistematizadas, sendo possível chegar a algumas conclusões sobre suas dificuldades conceituais e sobre o papel que a interação com o sistema poderia desempenhar no processo de reestruturação conceitual.*

## **I. Introdução**

Apesar de existirem, hoje, referenciais teóricos que ajudam a compreender os processos cognitivos envolvidos na aprendizagem de Ciências, bem como com uma quantidade considerável de resultados dos levantamentos de concepções espontâneas (especialmente na área de Física), a maior parte dos *softwares* educativos disponíveis no mercado tem privilegiado os recursos tecnológicos disponíveis e desprezado esse conhecimento. No sentido oposto, este trabalho questiona a tecnologia como um fim em

si mesmo e defende abordagens nas quais os recursos tecnológicos estão a serviço de projetos pedagógicos definidos a partir de abordagens teóricas sobre a aprendizagem e das necessidades dos alunos.

Assim, o uso do computador pode ser significativo quando usado como um meio que proporcione a construção do conhecimento do estudante a partir do que ele já sabe; que o ajude a reestruturar e reorganizar seus conceitos quando necessário; que possibilite a auto-reflexão; que possibilite a relação com fenômenos do seu cotidiano e que ofereça um ambiente estimulante ao seu esforço de raciocinar e aprender. Isso significa utilizar os recursos da informática para criar algo fundamentalmente diferente de um livro eletrônico.

A hiperídia, sendo um meio de processar a informação conjugando vários meios, como textos, imagens, animações, vídeos e áudios, apresenta um potencial específico para o ensino de Física, tornando possível a simulação de fenômenos físicos, além de trazer a possibilidade de reflexão por parte do estudante, de consideração ao seu estilo cognitivo e às suas concepções espontâneas.

Tendo como objetivo o aproveitamento do potencial educacional dos sistemas hiperídia para atuar significativamente frente às dificuldades conceituais em Mecânica de estudantes de nível médio e de cursos introdutórios de Física de nível universitário, foi desenvolvido um sistema hiperídia, denominado de “Força & Movimento” (F&M) (Rezende, 1996), a partir de um levantamento de dificuldades conceituais junto a um grupo de calouros universitários e abordagens teóricas da aprendizagem de Ciências.

O presente trabalho descreve o sistema “F&M” e os principais resultados de um estudo piloto que investigou em que medida dificuldades conceituais em Mecânica Básica puderam ser trabalhadas e superadas por uma turma de alunos do curso de Licenciatura em Física da UFRJ em função da interação com o mesmo.

## **II. Descrição do Sistema**

Esta seção descreve o sistema hiperídia “F&M”, seguindo as principais etapas do seu desenvolvimento (seleção do tema e da população-alvo, elaboração do desenho instrucional, projeto da interface e implementação). Apresenta-se, também, um resumo do conteúdo abordado no sistema.

### **II.1.A seleção do tema**

O elevado índice de reprovação e a falta de motivação para o estudo da Física em nível básico universitário têm sido motivo de constante preocupação por parte de professores de todas as instituições brasileiras de Ensino Superior (Peduzzi et al., 1992). De acordo com esses autores, é sem dúvida na mecânica onde se acentuam esses problemas. Segundo McDermott (1984), a persistência dessas dificuldades, apesar da instrução em Física, sugere que elas não são facilmente superadas e que precisam ser

explicitamente *atacadas* durante a instrução. Para Henessy et al. (1995), além de ser uma matéria difícil de ensinar e aprender, a instrução convencional em Física é notadamente mal-sucedida ao facilitar aos estudantes a compreensão dos princípios subjacentes.

Resultados de pesquisas em ensino de Física, hoje já considerados clássicos (veja, por exemplo, Viennot, 1979, diSessa, 1982, Clement, 1982, McCloskey, 1983, McDermott, 1984), mostram que tanto os estudantes do Ensino Médio como os de 3º grau podem apresentar dificuldades conceituais em mecânica básica. Esses resultados levaram-nos a eleger os estudantes do ensino médio e os alunos de cursos introdutórios de Física de nível universitário como público-alvo do sistema hipermídia a ser desenvolvido.

## II.2.O desenho instrucional

O objetivo do desenho instrucional do sistema hipermídia “F&M” é facilitar o processo de reestruturação conceitual dos estudantes em Mecânica Básica. Para tal, foram selecionados elementos de duas perspectivas teóricas sobre a aprendizagem (uma delas especificamente sobre a aprendizagem de Física), que além de modelos do processo de aprendizagem, propõem o papel educacional do computador dentro do modelo.

Em relação à aprendizagem de Física, foram selecionados aspectos da abordagem teórica que concebe a aprendizagem como um processo de desenvolvimento contínuo e gradual (diSessa, 1988), no qual o conhecimento do aluno é integrado ao conhecimento científico. A principal preocupação do professor (ou do desenvolvedor de materiais educativos) nessa proposta é a de encontrar contextos nos quais os estudantes construam conhecimento dentro de uma perspectiva de continuidade em relação à sua intuição. A função do computador, nessa abordagem, não é fornecer instrução, mas oferecer um ambiente ou *micro-mundo* no qual o estudante controla o movimento de um objeto (uma tartaruga) através de comandos que indiretamente representam seu raciocínio. Uma vez executados os comandos, o *micro-mundo* retroalimenta a ação. A experiência do estudante com o *micro-mundo* serve à perspectiva de mudança estrutural em direção à sistematicidade do conteúdo mais do que à sua própria mudança.

Embora diSessa (1988) considere a discussão mais eficiente do que a confrontação para promover o desenvolvimento conceitual, o autor verificou que os estudantes, ao interagirem com o *micro-mundo*, têm suas expectativas aristotélicas confrontadas pelo comportamento da tartaruga (diSessa, 1982). Assim, o confronto participa da experiência e reexperiência da intuição e da percepção da sistematicidade das leis que regem o comportamento da tartaruga, paralelamente às importantes relações de sucesso entre a intuição e a percepção.

A partir desse referencial, foram selecionados os seguintes aspectos teóricos considerados os mais representativos para orientar o desenho instrucional do

sistema a ser desenvolvido: (1) oferecer contextos para que os estudantes possam expressar concepções espontâneas; (2) tirar proveito da representação do conhecimento do estudante como um elemento de aproximação da representação científica do conhecimento; (3) possibilitar a criação e verificação de modelos intelectuais por parte do estudante; (4) enfatizar a sistematicidade e consistência do conhecimento científico a serem desenvolvidas sobre as reexperiências; (5) investigar a consistência do conhecimento do estudante, colocando-o à frente de diferentes formas de apresentação de problemas semelhantes; (6) possibilitar a identificação de sucessos parciais dos estudantes, a fim de serem *emendados* ao longo da discussão; (7) fornecer melhores modelos do entendimento qualitativo e sua relação com a resolução de problemas.

De outro lado, a Teoria da Flexibilidade Cognitiva (Spiro et al., 1992), utilizada prescritivamente para projetar sistemas hipermídia de aprendizagem, foi considerada importante, no sentido de poder corroborar a mudança estrutural do pensamento do estudante em direção à sistematicidade, proporcionando seu desenvolvimento conceitual.

O pressuposto central da Teoria da Flexibilidade Cognitiva é o de que a aprendizagem avançada envolve o desenvolvimento de representações flexíveis do conhecimento que ajudam a promover a compreensão conceitual e a habilidade de usar o conhecimento em situações novas. Os autores da Teoria da Flexibilidade Cognitiva consideram-na, ao mesmo tempo, teoria de aprendizagem, representação mental e instrução integrada. Enquanto instrução, essa teoria sugere que a interação do estudante com um material que ofereça diferentes contextos e perspectivas conceituais pode favorecer a compreensão e o uso do conhecimento em situações novas a partir da reunião dos aspectos relevantes das diversas situações.

Nesse sentido, a Teoria da Flexibilidade Cognitiva preconiza esquemas múltiplos de organização e de representação do conhecimento que formariam um espaço *multidimensional* do conteúdo. De acordo com os autores, sistemas hipermídia de aprendizagem podem simular esses esquemas, sendo, por isso, meios adequados para promover a flexibilidade cognitiva do estudante, na medida em que tornam possível a “navegação” não-linear por unidades de informações que estão conceitualmente relacionadas, representadas por textos, imagens, animações, vídeos e áudios.

Jacobson (1994) traduz aspectos da Teoria da Flexibilidade Cognitiva em elementos de particular relevância para a modelagem de sistemas hipermídia de aprendizagem, como por exemplo: (1) o uso de múltiplas formas de representação do conhecimento; (2) a ligação de conceitos abstratos a exemplos; (3) a demonstração de complexidades e irregularidades conceituais; (4) a ênfase na natureza inter-relacionada e forma de teia do conhecimento; (5) a possibilidade de reunião do conhecimento a partir de conceitos diferentes; e (6) a promoção da aprendizagem ativa.

A arquitetura dos sistemas hipermídia viabilizou a utilização dos elementos da proposta teórica de desenvolvimento conceitual (diSessa, 1988) dentro da estrutura não-linear construída com base nos elementos da Teoria da Flexibilidade Cognitiva

(Spiro et al., 1992), constituindo-se, assim, a estrutura do desenho instrucional do sistema “F&M”.

O sistema hipermídia “F&M” foi, então, modelado utilizando-se a Metodologia de *Design* de Hipermídia Orientado a Objeto (OOHDM) (Schwabe & Rossi, 1994), que permite a construção de uma aplicação hipermídia em quatro etapas: a modelagem conceitual do sistema, que representa o conteúdo abordado no sistema por um conjunto de classes que se relacionam de acordo com a semântica do conteúdo, a modelagem da navegação, que define a interação do estudante com o conteúdo, o projeto da interface, que prevê os objetos perceptíveis colocados à disposição do usuário e a implementação, que é a programação do sistema a partir das etapas anteriores. O esquema conceitual e a modelagem de navegação respondem pelo desenho instrucional.

O esquema conceitual do sistema (Fig. 1) representa o conteúdo considerado necessário para discutir as relações entre força e movimento, agrupado em três classes: “Situações Físicas”, “Leis do Movimento” e “Conceitos Físicos”. A relação entre as classes provém da semântica do conteúdo, como indicado pelas legendas das setas de ligação. O conteúdo de todas as telas do sistema deriva deste esquema conceitual, sendo representadas essencialmente por simulações de fenômenos físicos e textos explicativos.

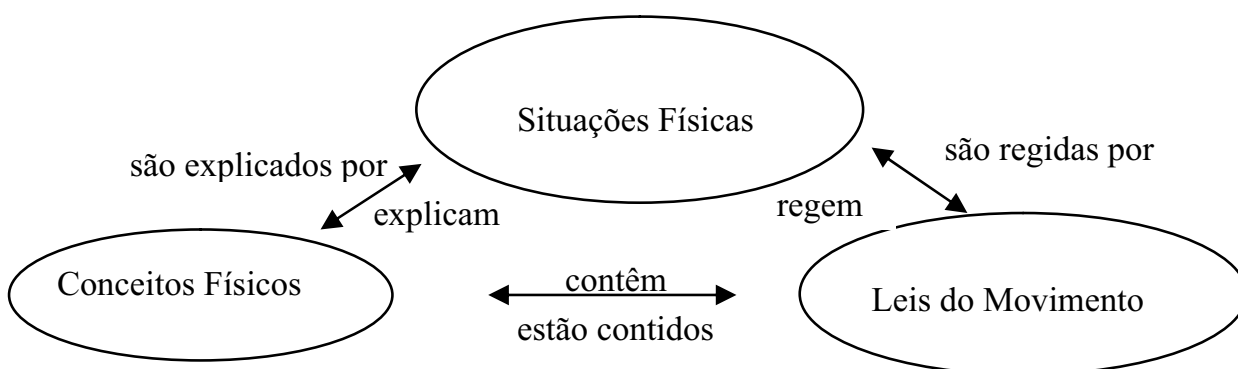


Fig. 1 - Esquema conceitual do sistema hipermídia “F&M”

O modelo de navegação do sistema, definido a partir do esquema conceitual, prevê que as telas derivadas das classes do conteúdo ofereçam ligações com as demais, seja através de palavras-chave contidas nos textos ou de botões que permitem acessar os índices das demais classes. O usuário pode escolher as ligações entre os conceitos, leis e situações físicas de acordo com seu objetivo, dúvidas, questões, interesse, percorrendo uma navegação não-linear.

Dessa forma, os elementos da Teoria da Flexibilidade Cognitiva refletem-se na estrutura não-linear da informação representada no sistema hipermídia “F&M”, que enfatiza a natureza interligada do conhecimento e encoraja a reunião do conhecimento a partir das relações conceituais e do interesse individual do usuário. A interação com o

sistema promove a aprendizagem ativa na medida em que o estudante controla sua navegação optando pelas telas que quer visitar.

Dentro da estrutura não-linear do sistema hipermídia “F&M”, foram projetadas seqüências de telas que funcionam como *tours* guiadas, (Schwabe & Rossi, 1994), nas quais o aluno perfaz uma navegação pré-definida, modelada em função dos elementos da proposta teórica de desenvolvimento conceitual. Foram projetadas características do sistema (Quadro 1) que juntas, proporcionam ao estudante a experiência de controlar o movimento de um objeto, (como no *micro-mundo*) e ter sua intuição integrada e confrontada com o conhecimento científico.

Quadro 1 – Elementos da perspectiva teórica de Desenvolvimento Conceitual e características das *tours* guiadas

<b>Elementos da perspectiva teórica</b>	<b>Características das <i>tours</i> guiadas</b>
Contextos apropriados para que os estudantes possam expressar suas concepções	Interação com situações físicas utilizadas na pesquisa
Representação do conhecimento do estudante como elemento de aproximação da representação científica do conhecimento	Interação com o sistema através da representação do conhecimento do estudante
Criação e verificação de modelos intelectuais do estudante	Simulação de modelos físicos a partir das concepções do estudante
Percepção da consistência do conhecimento científico a partir das <i>reexperiências</i>	Discussão de situações físicas diferentes baseadas nas mesmas leis
Investigação da consistência do conhecimento do estudante	Discussão de situações físicas diferentes baseadas nas mesmas leis
Identificação de sucessos parciais dos estudantes	Simulação que integra a concepção do estudante à científica
Modelos do entendimento qualitativo	Abordagem qualitativa do conteúdo
Discussão como estratégia instrucional	Seqüência de argumentos que simula uma discussão a partir da concepção do estudante

Os contextos apropriados para que os estudantes possam expressar concepções espontâneas são situações físicas que foram utilizadas no levantamento de concepções espontâneas na área de Mecânica (veja mais adiante na seção “Situações

Físicas”). A representação do conhecimento do estudante como elemento de aproximação da representação científica do conhecimento é feita por meio da representação do conceito de força por um vetor (caracterizado por módulo, direção e sentido) que o aluno atribui a objetos em movimento.

A criação e a verificação de modelos intelectuais são possíveis na medida em que o programa avalia as forças atribuídas pelo estudante ao objeto e apresenta telas (descritas por simulações e textos) em função das forças selecionadas. Por exemplo, o estudante que atribui ao objeto forças na direção da velocidade tem a oportunidade de observar, na tela “Confrontação”, a simulação do movimento que o objeto adquiriria se a força que ele escolheu obedecesse às leis de Newton.

A sistematicidade do conhecimento científico é enfatizada enquanto o sistema oferece contextos diferentes (situações físicas), os quais o estudante pode experimentar e reexperimentar suas concepções, discutidas segundo as mesmas leis físicas e argumentos.

O sistema possibilita a identificação de sucessos parciais do aluno a serem emendados, procurando tornar seu “erro” produtivo, recontextualizando-o. Por exemplo, quando é apresentada ao estudante que selecionou as forças na direção da velocidade, a tela Integração, que mostra o vetor Quantidade de Movimento (semelhante ao vetor que ele marcou) descrevendo a situação física em questão.

Modelos do entendimento qualitativo são possíveis a partir da interação com o sistema, na medida em que a abordagem do conteúdo é essencialmente qualitativa, priorizando a discussão conceitual em relação a aspectos quantitativos dos fenômenos simulados.

A discussão é a estratégia didática utilizada nas *tours* guiadas, enquanto a seqüência de telas simula um conjunto de argumentos compostos por simulações de fenômenos físicos e textos explicativos.

### III. O projeto da interface

Um dos elementos a serem levados em conta no planejamento de um material educativo é sua linguagem e em que medida ela possibilita a identificação do usuário. Nesse sentido, o projeto da interface (que é o espaço que o usuário vê e com o qual ele interage) dos *softwares* educacionais deve levar em conta as necessidades dos estudantes para os quais se dirigem em termos das habilidades cognitivas, da linguagem e de sua cultura.

Além disso, a interface de um sistema deve permitir que o usuário concentre-se unicamente na tarefa que está realizando, despendendo o mínimo de energia com os meios utilizados para tal. Para que isso seja possível, a interface deve ser consistente.

Esses princípios nortearam o projeto da interface do sistema hipermídia “F&M”. Assim, tendo como objetivo a consistência, a interface das três classes do conteúdo (Fig. 2) guarda as mesmas características no que diz respeito à localização de

seus elementos, como por exemplo, o título, o quadro de simulação, o texto explicativo (localizado na área colorida, à esquerda do quadro de simulação), os botões de navegação (o botão que leva à tela seguinte, ativado nas *tours* guiadas, os botões que levam à tela anterior e à saída do programa, sempre disponíveis) os botões que acionam as simulações e os botões que levam aos índices das classes.

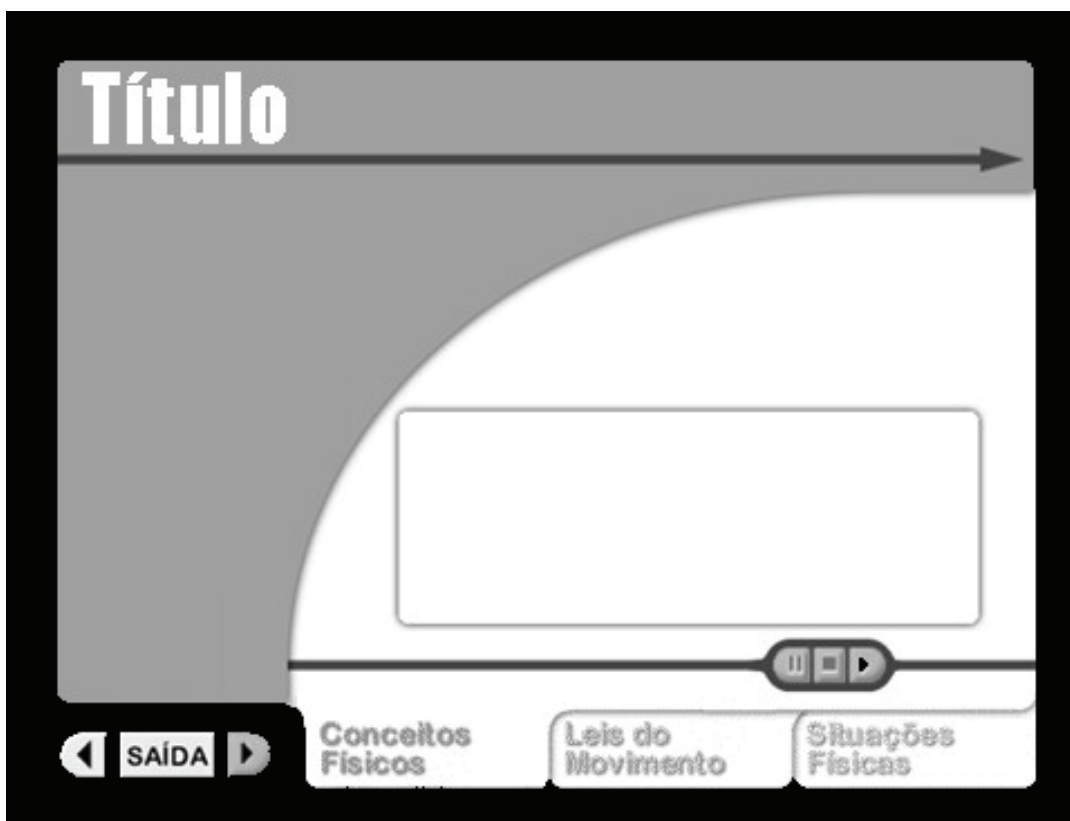


Fig. 2 - Interface das classes do sistema hipermídia “F&M”

Como se pode observar na Fig. 2, os botões que levam aos índices das classes parecem iluminados para indicar que estão ativos, ao contrário do botão de navegação que leva à tela seguinte, que parece apagado, para indicar que não está disponível. Nas telas que compõem as *tours* guiadas, dá-se exatamente o contrário.

A cor de fundo das áreas de texto e título varia de acordo com as classes do conteúdo.

#### IV. Implementação

Com base na especificação do esquema conceitual do modelo de navegação e do projeto da interface, foi possível implementar uma versão preliminar do sistema hipermídia “F&M”, utilizando-se o sistema de autoria “Multimedia Toolbook 3.0” da Asymetrix<sup>MR</sup>, transformando os modelos em objetos concretos.



As simulações foram programadas na linguagem de programação oferecida pelo sistema de autoria (*Openscript*) em função da equação física correspondente ao movimento simulado.

Toda vez que é aberto, o sistema cria um arquivo tipo texto com o nome do usuário, que armazena o nome do usuário, o título das telas visitadas e o instante em que foram acessadas e registra os dados digitados pelo estudante durante a interação com o sistema (notas escritas, respostas, vetores selecionados). Esse arquivo é localizado na pasta onde está o sistema.

A versão preliminar do sistema foi pré-testada com um pequeno grupo de estudantes do quinto período (equivalente à 3ª série do Ensino Médio) da Escola Técnica Federal de Química, no Rio de Janeiro. Foram realizadas entrevistas com os estudantes durante a interação com o sistema, que permitiram identificar problemas de linguagem, de conteúdo e de navegação. Os problemas identificados foram corrigidos e implementados, dando origem à versão final do sistema “F&M”.

## V. Conteúdo abordado

Classe “Situações Físicas” – As situações físicas escolhidas têm como objetivo principal oferecer contextos nos quais os estudantes possam expressar concepções espontâneas (como por exemplo, a situação física que mostra várias bolas em movimento com velocidades diferentes utilizada por Viennot, 1979). Para identificar as situações físicas a serem incluídas no sistema hipermídia “F&M”, foi utilizado um teste baseado no teste desenvolvido por Hestenes et al (1992) (*Force Concept Inventory*) que contém 29 questões objetivas de Mecânica Básica, cujas opções “erradas” colocam em evidência os resultados das pesquisas em concepções espontâneas. A nova versão do teste, denominado Teste Diagnóstico de Mecânica Básica, foi composta por 12 questões do teste original mais diretamente vinculadas às relações entre força e movimento.

A seleção das situações físicas foi feita a partir do resultado do Teste Diagnóstico de Mecânica Básica, aplicado aos calouros dos cursos de Licenciatura noturna em Física, Química e Matemática da UFRJ, em 1995. Visando o objetivo de atender às dificuldades conceituais dos estudantes, selecionamos as situações exploradas nas questões cuja frequência média de acerto foi menor do que 50%, o que resultou em um conjunto de seis situações físicas que abordam vários tipos de movimento: queda livre, lançamento vertical, lançamento horizontal, lançamento oblíquo, força impulsiva perpendicular à velocidade e força constante perpendicular à velocidade. Essas situações físicas constituem as telas derivadas da classe “Situações Físicas”.

Na tela de uma situação física, o estudante pode optar por continuar a navegação-linear, acessando os índices das demais classes e palavras-chave ou iniciar uma *tour* guiada, acessando o botão *Discussão*.

As discussões têm o objetivo de proporcionar a reflexão sobre os conceitos envolvidos nas situações físicas e propiciar a reestruturação conceitual do aluno quando necessário. A seqüência de telas simula um conjunto de argumentos que varia em função da seleção, pelo aluno, de vetores diferentes em módulo, direção e sentido para indicar as forças resultantes que estão atuando sobre um objeto, em pontos de sua trajetória. Dependendo da força selecionada, o programa define quais serão as telas de argumentos que irão compor a discussão. Os argumentos iniciais (descritos a seguir) são os mesmos para todas as situações, exceto para a situação que envolve a força impulsiva perpendicular à velocidade, na qual o estudante escolhe a direção e sentido do impulso recebido pelo objeto.

O aluno que acessa a *tour* guiada referente à queda livre (Fig. 3), por exemplo, é solicitado a indicar a força resultante que age sobre a bolinha em três pontos da trajetória. Se o aluno seleciona as forças resultantes iguais à força gravitacional, a *tour* o leva para a tela *Modelo Científico*, que apresenta a simulação da situação acrescida do vetor Peso, atuando sobre o objeto nos pontos da trajetória.

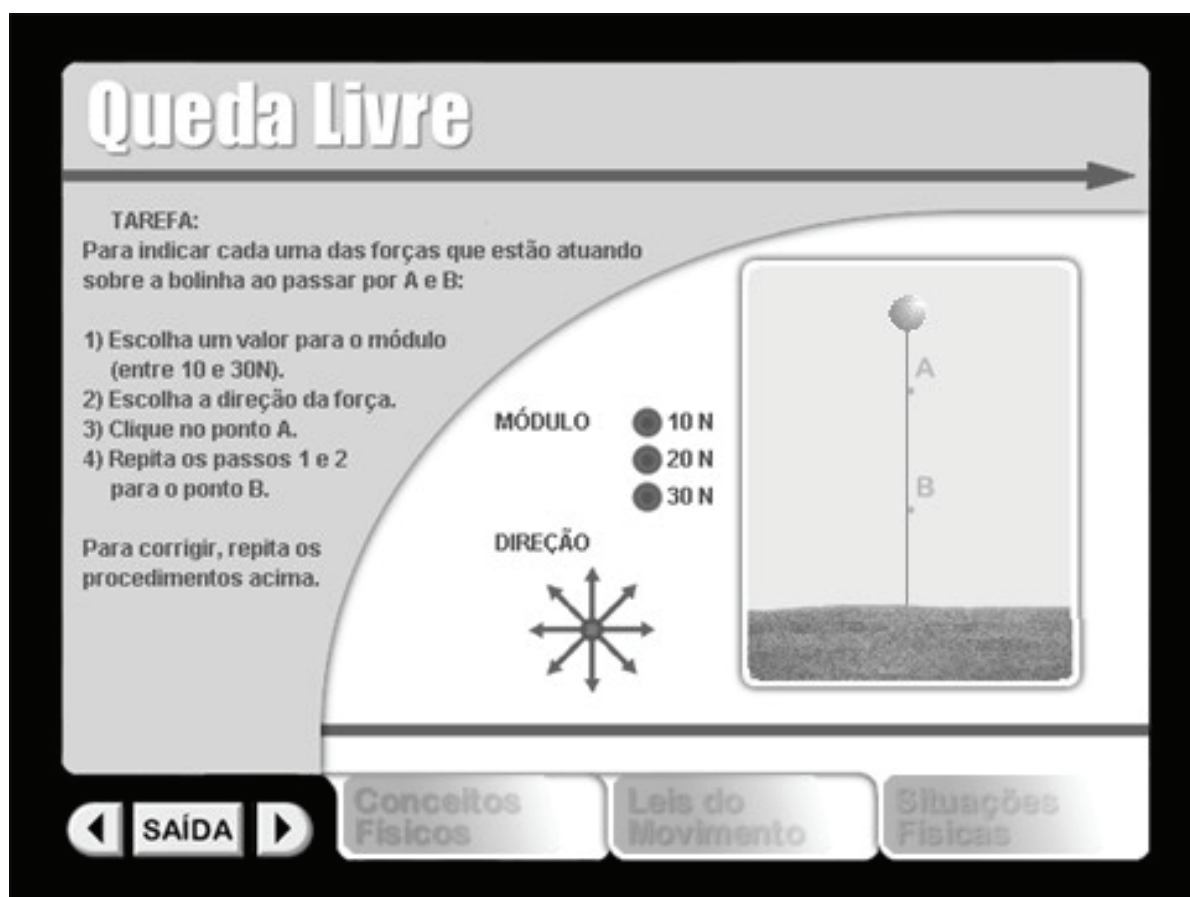


Fig. 3 - Tela inicial da tour guiada queda Livre.

Se o estudante seleciona a força na direção da velocidade, é levado à tela *Integração*, onde pode observar a simulação da situação física idêntica à inicial, acrescida da representação do vetor Quantidade de Movimento do objeto, que é semelhante ao vetor que ele selecionou. Em seguida, na tela *Confrontação*, é apresentada a simulação do movimento que o objeto adquiriria se a força resultante selecionada obedecesse às Leis de Newton. Nessa tela, o estudante pode abrir um campo, onde pode registrar suas idéias sobre o que está observando. O estudante é levado, então, à tela *Modelo Científico*. Após essa tela, são apresentadas telas de argumentos especificamente relacionados ao modelo científico daquela situação.

Se o estudante seleciona forças não previstas pelo sistema, ele é remetido à tela *Modelo Científico*.

Qualquer que seja a *tour* percorrida, na última tela o estudante pode retornar à navegação não-linear, por meio dos botões que levam aos índices das classes e das palavras-chave.

### **Classe “Conceitos Físicos”**

O conteúdo das telas da classe “Conceitos Físicos” procura enfatizar, na medida do possível, pontos problemáticos das relações entre força e movimento, como por exemplo, a relativa independência entre a força aplicada e a velocidade do corpo (já que podem ter sentidos opostos, como no caso da queda de um corpo e pode haver velocidade com força resultante nula) e a relação direta entre a força aplicada e o aparecimento de uma aceleração. Os textos explicativos incluem pelo menos uma palavra-chave, que permite a navegação para outro conceito relacionado ao atual.

Dezesseis telas de conceitos físicos (Velocidade, Aceleração, Força, Movimento, Referencial, Força de Atrito, Distância, Tempo, Posição, Deslocamento, Massa Inercial, Massa Gravitacional, Inércia, Quantidade de Movimento, Impulso, Peso e Vetores) considerados fundamentais para a discussão das relações entre força e movimento, abordados qualitativamente, derivam da classe “Conceitos Físicos”. O conceito de Vetores não foi incluído no Índice Conceitos Físicos (por se tratar de um conceito matemático), podendo ser acessado somente através da respectiva palavra-chave, presente no texto explicativo dos conceitos físicos que são grandezas vetoriais.

Conceitos que podiam ajudar os estudante a esclarecer pontos problemáticos das relações entre força e movimento, como por exemplo, velocidade, inércia, aceleração, força e vetores, foram tratados mais detalhadamente, sendo discutidos em pequenas *tours* guiadas compostas por três ou quatro telas, cujo objetivo foi proporcionar o envolvimento mais ativo do estudante com o conceito.

## Classe “Leis do Movimento”

A 1ª Lei de Newton foi desenvolvida em uma *tour* guiada que mostra inicialmente a simulação da experiência de um disco que desliza sobre uma superfície rugosa, que vai sendo substituída por superfícies cada vez mais lisas. Conseqüentemente, a distância percorrida pelo disco é cada vez maior. O processo é interrompido e uma pergunta aberta, que solicita uma previsão sobre o movimento do disco caso o atrito fosse totalmente retirado, é apresentada ao estudante. Independentemente do que ele responda, a próxima tela mostra a simulação do movimento do disco sobre uma superfície idealmente sem atrito e o texto explicativo aborda a 1ª Lei de Newton.

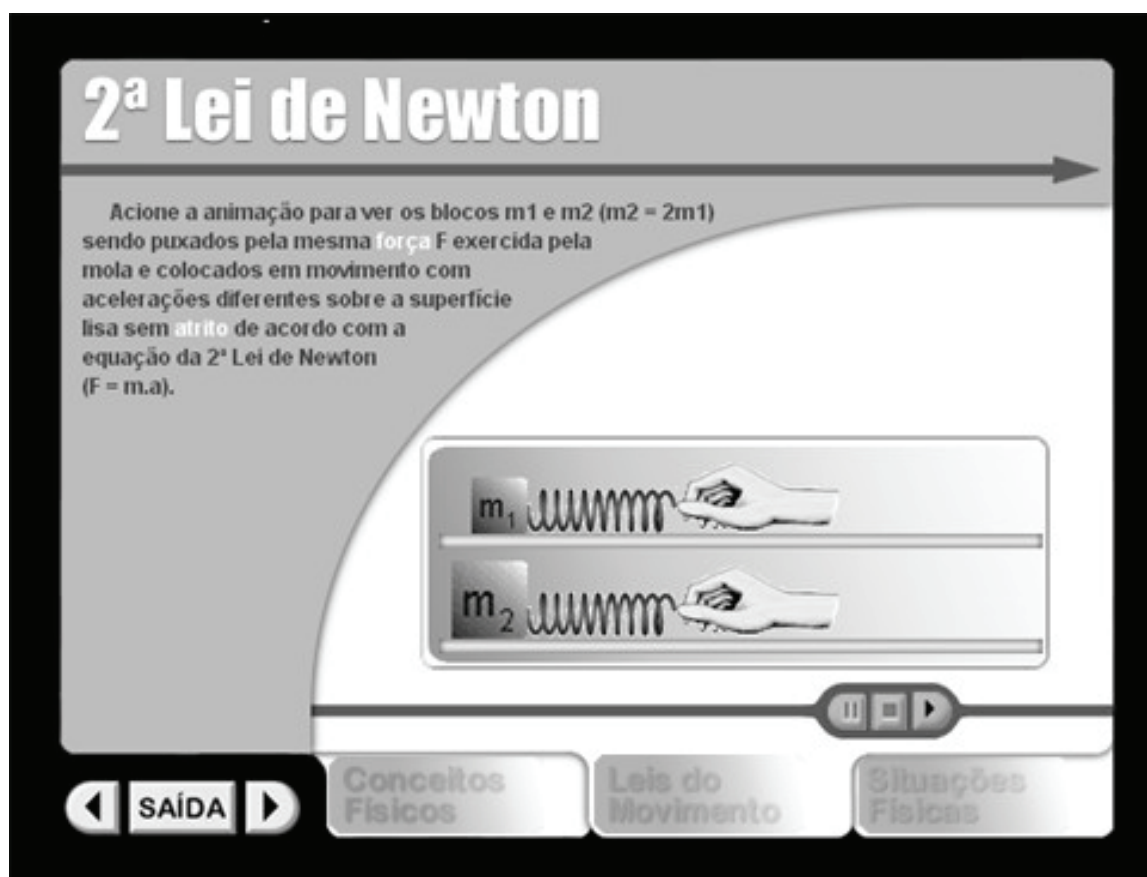


Fig. 4 - Tela 2ª Lei de Newton

A 2ª Lei de Newton é apresentada em uma pequena *tour* guiada, que discute a experiência de uma mola fixada a um corpo sobre o qual é aplicada uma força e, conseqüentemente, uma aceleração (Halliday, Resnick & Walker, 1993). Essa situação é usada para mostrar que a razão entre diferentes massas é inversamente proporcional à razão entre as acelerações e concluir a expressão da 2ª Lei de Newton. A situação física utilizada para exemplificar a 3ª Lei de Newton mostra um *trailer* sendo puxado por um carro e os pares de força de ação e reação que atuam sobre ambos. A Fig. 4 mostra a

tela 2ª Lei de Newton como exemplo das telas derivadas da classe “Conceitos Físicos” e da classe “Leis do Movimento”.

## VI. Estudo Piloto

O estudo piloto para avaliação do sistema hipermídia “F&M” foi realizado com três grupos de usuários: estudantes universitários, estudantes do Ensino Médio da rede pública e professores de Física do Ensino Médio da rede estadual. No primeiro estudo, o sistema foi utilizado como atividade da disciplina “Introdução à Física”, da Licenciatura em Física da UFRJ, no primeiro período do ano letivo de 1996. A turma foi dividida em dois grupos de vinte estudantes, que trabalharam em duplas com o sistema, sob a orientação de um professor, em três sessões de uma hora.

Foi aplicado um teste antes da sessão de computador com questões semelhantes às situações físicas abordadas no sistema. Após as sessões, os estudantes foram entrevistados, tomando como referência os testes respondidos. O teste com o primeiro grupo possibilitou aperfeiçoar o sistema e os próprios instrumentos de avaliação utilizados.

A entrada de dados durante a interação com o sistema e as respostas obtidas com os instrumentos aplicados possibilitaram tanto o levantamento e interpretação de um inventário das concepções dos estudantes sobre força e movimento quanto a avaliação de como o sistema os ajudou a reestruturarem-se tendo em vista suas dificuldades conceituais como ponto de partida e a Física formal como ponto de chegada. A pesquisa investigou também os dados de navegação livre das duplas de estudantes, que foram tratados descritivamente.

## VII. Resultados do Estudo

Os testes aplicados antes das sessões de computador e as entradas de dados pelo grupo de estudantes calouros universitários nas *tours* guiadas do sistema serviram de fonte para o estudo de suas dificuldades conceituais. Analisando em conjunto esses resultados, observou-se que não seria possível atribuir uma única teoria ao pensamento dos estudantes para interpretar as dificuldades conceituais envolvidas, mas que seria necessário mais de um modelo alternativo para esse fim. Sendo assim, os resultados aproximariam-se mais da perspectiva teórica que atribui ao pensamento dos estudantes uma configuração fragmentada, sem consistência, resumida na imagem de *conhecimento em pedaços* (diSessa, 1988), do que à perspectiva de outros pesquisadores como McCloskey (1983), por exemplo, que encontraram nas concepções espontâneas semelhanças com teorias físicas pré-newtonianas.

O sistema hipermídia “F&M” mostrou-se de fácil utilização mesmo para os estudantes do Ensino Médio que possuíam pouca familiarização com o computador. Todos os estudantes que utilizaram o sistema responderam favoravelmente ao

questionário de opinião, enfatizando o importante papel da visualização dos fenômenos físicos na ajuda à compreensão dos conceitos envolvidos.

Apesar de não ter sido possível investigar a navegação individual, mas de duplas de estudantes (limitação imposta à pesquisa), a análise dos dados de navegação livre forneceu resultados que apontam para a individualização da navegação, representada, por exemplo, pelo uso ou não de palavras-chave, pela diferença entre o percentual de conceitos visitados entre as duplas e pela ordem particular em que as leis de Newton e as situações foram visitadas, apesar de serem apresentadas segundo uma ordem numérica.

Os estudantes utilizaram muito pouco as palavras-chave como recurso de navegação entre as telas do sistema. Esse resultado pode indicar o quanto a leitura não-linear ainda é culturalmente estranha aos estudantes, podendo a insistente volta ao índice representar uma tentativa de linearizar a navegação.

O efeito da interação com o sistema hipermídia “F&M” sobre a reestruturação conceitual dos calouros universitários pôde ser observado através da expressiva mudança de pontos de vista exibida pelos estudantes, durante as entrevistas sobre os testes respondidos antes das sessões. Mas, se por um lado a interação com as *tours* guiadas pode ter provocado a mudança de pontos de vista na maioria dos estudantes, estamos cientes de que essa mudança não pode ser considerada com equivalente à reestruturação conceitual, constituindo-se num componente na direção do desenvolvimento conceitual, que de acordo com diSessa (1988) é mais lento e longo do que apenas a comparação entre o teste e a entrevista poderia evidenciar.

Outro sinal que aponta na direção da reestruturação conceitual foi evidenciado pelos ganhos dos estudantes que usaram o sistema, nos itens do Teste Diagnóstico de Mecânica Básica reaplicado ao final do semestre de 1996, relacionados com as situações exploradas nas *tours* guiadas (Tabela 1).

A Tabela 1 permite uma análise comparativa entre o desempenho do grupo de estudantes da Licenciatura em Física e o grupo total de estudantes das Licenciaturas em Química e Matemática no Teste Diagnóstico de Mecânica Básica, aplicado no início do semestre, e no pós-teste, aplicado no final. Por motivos alheios ao controle da pesquisadora os dados referentes ao pós-teste não foram coletados dos grupos intactos, mas de amostras aleatórias dos grupos originais. Com exceção do item 2, houve ganho no desempenho dos dois grupos em todos os demais itens do pós-teste comparado ao pré-teste.

Levando-se em consideração que os ganhos obtidos no teste seriam indicadores do processo de reestruturação conceitual dos estudantes ao longo do curso, parece poder se atribuir ao sistema uma influência positiva nesse processo.

Apesar dos efeitos positivos sobre o desenvolvimento conceitual comentado anteriormente estarem diretamente relacionados à interação dos estudantes com as *tours* guiadas, é necessário considerar o possível efeito do *desenho* instrucional do sistema no que diz respeito à navegação livre. Em função dos resultados obtidos, pode-se levantar a hipótese de que a maior familiarização do estudante com a

linguagem hipertextual e sua conseqüente apropriação das palavras-chave como objeto de navegação, leve à reunião do conhecimento a partir de diferentes casos conceituais, como propõe a Teoria da Flexibilidade Cognitiva (Spiro et al., 1992) contribuindo, dessa forma, igualmente para o desenvolvimento conceitual.

Tabela 1 – Percentuais de acerto dos estudantes dos cursos de Licenciatura em Física e Química e Matemática no Teste Diagnóstico de Mecânica Básica (Pré e Pós)

Item	Licenciatura em Física		Licenciaturas em Química e Matemática	
	Pré-teste (N=27)	Pós-teste (N=19)	Pré-teste (N=66)	Pós-teste (N=34)
1*	52%	74%	44%	47%
2	71%	68%	70%	71%
3	30%	56%	29%	47%
4	19%	53%	23%	41%
5A*	30%	79%	39%	65%
5B*	28%	66%	30%	47%
6*	18%	68%	18%	27%
7	19%	47%	24%	44%
8	74%	90%	64%	88%
9	48%	63%	58%	68%
10	45%	84%	52%	68%
11*	30%	68%	52%	71%
Média	42%	74%	46%	62%

(\*) itens diretamente relacionados ao conteúdo das situações discutidas no sistema “F&M”

## VIII. Conclusões

Com os resultados encontrados, foi possível chegar a algumas conclusões sobre as dificuldades conceituais que os estudantes calouros apresentam e sobre o papel que a interação com o sistema hipermídia “F&M” poderia desempenhar no processo de reestruturação das concepções dos estudantes.

Considerando que as mudanças de ponto de vista com relação à análise das situações exploradas no sistema e o melhor desempenho dos estudantes que usaram o sistema no Teste Diagnóstico de Mecânica Básica aplicado ao final do semestre sejam indicadores do desenvolvimento conceitual, podemos dizer que provavelmente houve influência positiva da utilização do sistema sobre esse processo. É importante enfatizar que esses efeitos foram positivos apesar das sessões de computador terem funcionado como uma estratégia isolada do curso de Introdução à Física, sem ligação com as aulas teóricas. Acreditamos que o efeito dessa interação sobre a reestruturação conceitual dos estudantes pode ser amplificado quando o sistema “F&M” puder ser utilizado como instrumento enriquecedor do trabalho do professor, a serviço de suas estratégias pedagógicas.

O conjunto de resultados obtidos na avaliação do sistema “F&M” não é suficiente para discutir de forma definitiva o sucesso ou insucesso da modelagem dos elementos da teoria de desenvolvimento conceitual utilizada no *desenho* instrucional do sistema. Pese a dificuldade em modelar o *desenho* de qualquer material didático em função de uma proposta teórica, já que essa transferência cerceia por natureza a teoria, esse desafio foi enfrentado. Do mesmo modo, não houve evidência conclusiva de que os efeitos desejados sobre a reestruturação conceitual deveram-se especificamente ao *desenho* instrucional utilizado. Provavelmente é consequência do fato de as dificuldades conceituais terem sido objeto específico de trabalho dos estudantes durante a interação com o sistema. Isso não quer dizer que a forma com que as situações físicas foram discutidas seja irrelevante, mas apenas que não foi possível estabelecer como funcionaram.

Apesar de não ter sido possível concluir sobre o sucesso da modelagem dos elementos da teoria de desenvolvimento conceitual de diSessa (diSessa, 1988, Smith et al., 1993) no *desenho* instrucional do sistema, acreditamos que, tendo sido o conjunto das dificuldades conceituais enfrentadas, caracterizado como um *conhecimento em pedaços* (diSessa, 1988), é provável que o *desenho* instrucional das *tours* guiadas tenha sido adequado, uma vez que elaborado segundo elementos teóricos consistentes com essa visão e atribuindo às dificuldades conceituais um papel produtivo ao longo do processo de desenvolvimento conceitual.

## IX. Referências Bibliográficas

- CLEMENT, J. (1982). Students' preconceptions in introductory Mechanics. *Design*, 50(1).
- DISESSA, A. (1982). Unlearning aristotelian physics: a study of knowledge-based learning. *Cognitive Science*, 6: 37-75.
- DISESSA, A. (1988). Knowledge in pieces. In G. Forman & P. Pufall (Eds.), *Constructivism in the Computer Age*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.



- HENESSY, S., TWIGGER, D., DRIVER, R., O' SHEA, T., O' MALLEY, C., BYARD, M., DRAPER, S., HARTLEY, R., MOHAMED, R. & SCANLON, E. (1995). Design of a computer-augmented curriculum for mechanics. *Int. J. of Science Education*, 17(1): 75-92.
- HESTENES, D., WELLS, M., SWACKHAMER, G.(1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, March, 30: 141-153.
- HALLIDAY, D, RESNICK, R., WALKER, J. (1993). Fundamentos de Física I. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S/A.
- MCCLOSKEY, M. (1983). Intuitive Physics. *Scientific American*, 248(4): 113-122.
- MCDERMOTT, L. C. (1984). Research on conceptual understanding in Mechanics. *Physics Today*, July, 24-32.
- PEDUZZI, L. O, ZYLBERSZTAJN, A & MOREIRA, M. (1992). As concepções espontâneas, a resolução de problemas e a história da ciência numa seqüência de conteúdos em Mecânica: o referencial teórico e a receptividade de estudantes universitários à abordagem histórica da relação força e movimento. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 14(4): 239-246.
- REZENDE, F. (1996). *A Hiperídia no ensino de Física facilitando a Construção de conceitos de mecânica básica*. (Tese de doutorado). Rio de Janeiro, Departamento de Educação, PUC-RJ.
- SCHWABE, D., ROSSI, G. (1994). From domain models to hypermedia application: an object-oriented approach. *Relatório Técnico MCC 30-94*, Departamento de Informática, PUC-RJ.
- SMITH, J. DISESSA, A., ROSCHELLE, J. (1993). Misconceptions reconceived: A constructivist analysis of knowledge in transition. *The Journal of the Learning Sciences*, 3(2): 115-163.
- SPIRO, R. J., FELTOVITCH, P. J., JACOBSON, M. J., COULSON, R. L. (1992). Cognitive Flexibility, Constructivism and Hypertext: Random Access Instruction for Advanced Knowledge Acquisition in Ill-Structured Domains. In T.M. Duffy & D.H. Jonassen (Eds.) *Constructivism and the technology of instruction: a conversation*. NJ, Lawrence Erlbaum, 57-75.
- VIENNOT, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European J. of Science Education*, 11: 205-221.