
DISEÑO INSTRUCCIONAL DE UN SISTEMA *HYPERMEDIA* PARA EL APRENDIZAJE DE LA FÍSICA FUNDAMENTADO EN LAS PERSPECTIVAS TEÓRICAS DEL CAMBIO Y DEL DESARROLLO CONCEPTUAL*

REZENDE, FLÁVIA¹ y DE SOUZA BARROS, SUSANA²

¹Núcleo de Tecnologia Educacional para a Saúde, UFRJ (frezende@notes.ufrj.br)

²Instituto de Física, UFRJ (susana@if.ufrj.br)

Resumen. En este trabajo son utilizadas dos perspectivas teóricas del aprendizaje de la física para fundamentar el uso del ordenador. Ambas se centran en la construcción de conceptos científicos: la primera está asociada a la noción de *cambio conceptual* (CC), que presupone que el aprendizaje se da como sustitución de un concepto alternativo, que el aprendiz ya posee, por el concepto científico correspondiente; la segunda se refiere al *desarrollo conceptual* (DC), que resulta de un proceso continuo de integración conceptual, para el que el conocimiento intuitivo contribuye productivamente. A través de esas dos perspectivas teóricas fue posible identificar en la literatura específica algunas propuestas pertinentes, que fueron utilizadas para el diseño del sistema. Sus características guiaron la selección de los elementos necesarios para elaborar el diseño instruccional del sistema *hypermedia* «Fuerza & Movimiento», desarrollado para facilitar a los estudiantes la comprensión de algunos de los conceptos fundamentales de la mecánica básica.

Palabras clave. Hypermedia, fundamentación teórica, cambio y desarrollo conceptual, aprendizaje de la física.

Summary. In this paper, we use two theoretical perspectives from physics learning in order to provide foundations to the use of computers. Both perspectives are centred on the construction of scientific concepts. The first one is associated to the idea of *conceptual change* (CC), which assumes that learning is a substitution of a scientific concept for a misconception that the learner already possesses. The second perspective refers to *conceptual development* (DC), which arises from a continual process of conceptual integration, in which intuitive knowledge productively contributes. Through these two theoretical perspectives, we were able to identify in the literature some relevant proposals, which were used to design the system. The perspectives guided the selection of the elements needed to elaborate the instructional design of the hypermedia system «Force & Movement». This system was developed to facilitate students' understanding of some of the fundamental concepts of basic mechanics.

Keywords. Hypermedia, theoretical foundations, conceptual change and development, physics learning.

INTRODUCCIÓN

A pesar de la existencia de enfoques teóricos que ayudan a comprender los procesos cognoscitivos involucrados en el aprendizaje de las ciencias, además del conocimiento de una apreciable cantidad de resultados sobre las concepciones alternativas de los estudiantes (sobre todo en física), la mayor parte del software educativo actualmente disponible ha privilegiado los recursos tecnológicos e ignorado ese tipo de contribución. Este trabajo, en cambio, no utili-

za la tecnología como una finalidad en sí misma, sino que defiende el uso de los recursos tecnológicos como soporte de proyectos pedagógicos, definidos tanto por las perspectivas teóricas como por las propias necesidades de aprendizaje de los estudiantes.

Así, se considera que el uso del ordenador puede ser significativo cuando contribuye a la construcción del conoci-

miento del estudiante a partir de lo que él ya sabe, facilitándole la autorreflexión; ayudándolo a reestructurar, revalorizar y reorganizar los conceptos cuando es necesario; facilitándole la relación con los fenómenos de la vida diaria; y ofreciéndole una atmósfera estimulante para la realización de los esfuerzos de razonar y aprender. Todo esto requiere que los recursos de la informática sean utilizados para crear ‘algo’ que sea nuevo, fundamentalmente diferente del libro electrónico.

Los sistemas *hypermedia* procesan información conjugando varios medios de comunicación, tales como textos, imágenes, animaciones, vídeos y audio, y presentan un gran potencial para la enseñanza de la física, en la medida en que posibilitan la simulación de fenómenos físicos que pueden llevar al estudiante a reflexionar sobre los mismos, considerando además el estilo cognoscitivo del alumno y sus concepciones alternativas.

En este sentido, la presente propuesta pretende aprovechar el potencial de los sistemas *hypermedia*, asociado a un diseño instruccional fundamentado en los elementos del cambio y del desarrollo conceptual, para afrontar las dificultades conceptuales de mecánica de los estudiantes en los niveles de enseñanza de física en la escuela secundaria (15-18 años) y de la introducción a la física en las carreras universitarias.

LA SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS TEÓRICOS DEL DESARROLLO Y DEL CAMBIO CONCEPTUAL

Dos perspectivas teóricas del aprendizaje de la física son utilizadas como punto de partida para el uso del ordenador. La primera, fundamentada en la analogía entre el aprendizaje y la forma en la que las teorías se modifican en la ciencia, concibe el aprendizaje como un proceso de cambio conceptual (CC) a través del cual una nueva teoría sustituye progresivamente la anterior (Posner et al., 1982). Este proceso equivaldría a una situación de acomodación (no piagetiana), cuando los conceptos centrales del alumno quedan ya inadecuados para explicar nuevos fenómenos, haciéndose necesaria su sustitución o reorganización.

Partiendo de la constatación de que los resultados de las investigaciones sobre las concepciones alternativas no logran explicar satisfactoriamente el cambio conceptual, Hashweh (1986) construye una propuesta teórica que identifica factores internos e externos al proceso de cambio conceptual del alumno que afectarían la persistencia de las preconcepciones, la adquisición de nuevos conceptos y la reestructuración conceptual.

Villani (1992) estudia la correspondencia entre los procesos de cambio conceptual de los alumnos y los modelos de Laudan y Kuhn sobre el desarrollo de la ciencia. El autor identifica dos fases en el proceso de CC. En la primera, denominada *CC lato sensu*, el conocimiento académico del alumno coexiste con el anterior. En la segunda, denomina-

da *CC stricto sensu*, el alumno acepta el conocimiento científico y lo integra eficientemente a un sistema conceptual coherente.

Aunque las propuestas del CC discutidas por los autores citados son diferentes, las mismas presentan en común el énfasis puesto en el conflicto cognitivo (consecuencia de la confrontación) como base del proceso del cambio conceptual.

La segunda perspectiva teórica corresponde al desarrollo conceptual (DC) (diSessa, 1988), que considera el aprendizaje como un desarrollo cognoscitivo a lo largo de un proceso continuo, del cual el conocimiento intuitivo participa productivamente, permitiendo integrar los fragmentos dispersos de conocimiento que el estudiante ya posee.

Esas dos perspectivas teóricas sirvieron como base para la identificación, en la literatura, de propuestas para el uso del ordenador. Sus características permitieron seleccionar el diseño instruccional del sistema *hypermedia* «Fuerza & Movimiento» («F&M») (Rezende, 2001).

Varios autores (Carlsen y Andre, 1992; Hennessy et al., 1995, y otros) investigaron el papel del ordenador en la enseñanza de la física desde la perspectiva del CC. La revisión de los resultados publicados en la literatura especializada mostró que la mayor parte del software educativo presenta aspectos comunes, tales como la confrontación de las concepciones alternativas para lanzar un conflicto cognoscitivo y la posibilidad de la comprobación de la utilidad de una nueva concepción, lo que facilitaría su acomodación.

Por otra parte, como ya fue mencionando, existe la perspectiva teórica del DC, que concibe el aprendizaje como un proceso de desarrollo continuo y gradual, en el que el conocimiento anterior del estudiante se integra a los objetivos del conocimiento científico para abordar los contextos en los que el estudiante construye su saber, dentro de la perspectiva que da continuidad al sistema intuitivo presente. El ordenador no proporciona instrucción, pero ofrece un ambiente especial –*micromundo*– en el cual el estudiante trabaja a través de comandos que, indirectamente, representan su razonamiento. Una vez ejecutadas las instrucciones, el ambiente ofrece una acción de retroalimentación. Para diSessa (1982), el ordenador podría ser utilizado para proporcionar un cambio de estructura en la dirección de un conocimiento consistente, contrapuesto al cambio conceptual ‘inmediato’ de los contenidos, que pueden permanecer fragmentados.

Varios de los estudios revisados revelan que estas dos perspectivas teóricas conducen a características diferentes en el uso educativo del ordenador, principalmente en relación al comando del estudiante sobre el programa, que es más sólido cuando se utiliza el enfoque DC, mientras que la instrucción recibida es más explícita cuando se utiliza el referencial CC. No obstante ello, los estudios fundamentados en estas dos perspectivas presentan aspectos comunes y la mayoría de los trabajos disponibles en la literatura utilizan simulaciones de situaciones físicas para trabajar las concepciones alternativas de los estudiantes.

Figura 1

Diseño conceptual del sistema *hypermedia* "F&M".



Pese a que el modelo del DC (diSessa, 1988) considera la 'discusión' como un elemento más importante que la 'confrontación' para la promoción del desarrollo conceptual, sus estudios anteriores (diSessa, 1982) mostraron que los estudiantes que utilizaron el micromundo tienen sus expectativas aristotélicas confrontadas por el movimiento de la tortuga en el ambiente. Así, la 'confrontación' también contribuye a la experiencia y a la reexperiencia de la intuición y de la percepción de los estudiantes, que pueden reconocer la consistencia de las leyes físicas que gobiernan el comportamiento de la tortuga.

Partiendo de dichos enfoques, los siguientes aspectos teóricos fueron seleccionados como los más representativos para guiar el diseño instruccional del sistema «Fuerza & Movimiento»: (1) ofrecer contextos para que los estudiantes puedan expresar sus concepciones alternativas; (2) aprovechar las representaciones del conocimiento del estudiante para tender los puentes necesarios hacia la representación de sus modelos conceptuales; (3) facilitar la formulación y verificación de los modelos conceptuales de los estudiantes; (4) hacer énfasis en la reestructuración y consistencia del conocimiento científico a ser desarrollado en el próximo intento (repasando la misma situación); (5) investigar la consistencia del conocimiento del estudiante al resolver problemas similares, cuando presentados en formatos diferentes; (6) facilitar la identificación de los éxitos parciales de los estudiantes, que deben ser reflejados a lo largo de la discusión; y (7) proporcionar mejores modelos de la comprensión cualitativa de los estudiantes y de su correlación con la solución de problemas.

EL DISEÑO INSTRUCCIONAL DEL SISTEMA

La estructura no lineal de la información, típica de la arquitectura de sistemas de aprendizaje *hypermedia*, posibilita el uso de los elementos identificados en las propuestas teóricas del cambio y del desarrollo conceptual. La metodología del diseño orientado al objeto de los sistemas *hypermedia*, propuesta por Schwabe y Rossi (1994), fue

elegida para modelar el sistema «F&M». Dicho método permite la construcción de una aplicación *hypermedia* en cuatro fases: 1) el diseño conceptual del sistema, que representa el contenido, deriva de la semántica del mismo en un grupo de clases; 2) el modelo de la navegación, que define la interacción del estudiante con el contenido; 3) el diseño de la interfase, que modela los objetos perceptibles a disposición del usuario; y 4) la implementación, o sea, la programación propiamente dicha del sistema a partir de las fases anteriores. De esta forma, el diseño conceptual y el modelo de la navegación responden por el diseño instruccional.

El diseño conceptual del sistema, mostrado en la figura 1, representa el contenido necesario para discutir las relaciones entre los conceptos de fuerza y movimiento, distribuido en tres clases: *Situaciones Físicas*, *Leyes del Movimiento* y *Conceptos Físicos*. La relación entre las clases proviene de la semántica del contenido, como está indicado por las leyendas de las flechas que las conectan. Las pantallas del sistema derivan del diseño conceptual, siendo representadas esencialmente por simulaciones de los fenómenos físicos y sus correspondientes textos explicativos.

Según el modelo de la navegación del sistema, las pantallas de las clases permiten establecer vínculos (*links*) con las otras, a través de palabras-clave del contenido de los textos, o de botones que llevan a los índices de clasificación. Así, el usuario puede escoger los vínculos entre los conceptos, leyes y situaciones físicas, con el objetivo de resolver sus dudas y entrar a los tópicos que le interesen de un modo no lineal.

Incluido en la estructura no lineal del sistema «F&M», fue diseñado un conjunto de 'series de pantallas' que funcionan como visitas guiadas (Schwabe y Rossi, 1994), en las que el estudiante sigue un camino predefinido, que fue diseñado en función de los elementos de las propuestas teóricas CC y DC. Las características del sistema, mostradas en el cuadro I, fueron proyectadas para proporcionar al estudiante la experiencia de controlar el movimiento de un objeto (como en el *micromundo*) y para permitir integrar

Cuadro I

Elementos de los enfoques teóricos del desarrollo y el cambio conceptual y características de las visitas guiadas.

Enfoque	Elementos de la perspectiva teórica	Características de las visitas guiadas
CC/DC	Contextos apropiados para que los estudiantes puedan expresar sus concepciones.	Interacción con las situaciones físicas.
DC	Representación del conocimiento del estudiante como elemento de aproximación de la representación del concepto científico.	Interacción con el sistema a través de la representación del conocimiento del estudiante.
CC/DC	Creación y verificación de los modelos intelectuales del estudiante.	Simulación de modelos físicos a partir de las concepciones del estudiante (confrontación).
DC	Percepción de la consistencia del conocimiento científico a partir de las <i>reexperiencias</i> .	Discusión de diferentes situaciones físicas fundamentadas en las mismas leyes.
DC	Investigación de la consistencia del conocimiento del estudiante.	Discusión de diferentes situaciones físicas fundamentadas en las mismas leyes.
DC	Contextos que ponen en evidencia el papel productivo de las concepciones de los estudiantes.	Simulación que integra la concepción del estudiante al concepto científico
DC	Modelos de la comprensión cualitativa.	Abordaje cualitativo del contenido.
DC	Discusión como estrategia educativa.	Secuencia de argumentos que simula una discusión a partir de la concepción del estudiante.

elementos intuitivos que serán confrontados con el respectivo conocimiento científico escolar.

Los contextos apropiados para que los estudiantes puedan expresar sus concepciones alternativas corresponden a un conjunto de situaciones físicas, que fueron identificadas en las investigaciones desarrolladas en el área de la mecánica (ver la sección de *Situaciones Físicas*). La representación del conocimiento del estudiante, como un elemento puente hacia la representación científica del conocimiento, es realizada a través de la representación del concepto de fuerza por un vector (caracterizado por módulo, dirección y sentido), que el estudiante atribuye a los objetos en movimiento.

La creación y la comprobación de los modelos intelectuales son posibles porque el programa evalúa las fuerzas atribuidas por el estudiante al objeto y presenta las pantallas (descriptas por simulaciones y textos) de acuerdo con las fuerzas seleccionadas. Por ejemplo, el estudiante que atribuya fuerzas al objeto, en la dirección de la velocidad, tendrá la oportunidad de observar, en la pantalla 'Confrontación', la simulación del movimiento que sería adquirido por ese objeto en el caso de que la fuerza seleccionada obedeciera a las leyes de Newton.

El sistema hace énfasis en la consistencia del conocimiento científico, al ofrecer contextos (situaciones físicas) di-

ferentes en los cuales el estudiante puede rever sus concepciones, discutidas según los mismos argumentos y las mismas leyes físicas. También ofrece contextos en los cuales las concepciones de los estudiantes tienen un 'papel productivo', facilitando la identificación de sus éxitos parciales. Por ejemplo, en la pantalla de 'Integración', donde se muestra la velocidad vectorial adquirida, similar al vector dibujado por el estudiante que haya seleccionado las fuerzas en la dirección de la velocidad.

Modelos de comprensión cualitativa son posibles en la interacción con el sistema, dado que el contenido físico es esencialmente cualitativo y prioriza la discusión conceptual relacionada con los aspectos cualitativos de los fenómenos simulados. La 'discusión' es la estrategia didáctica usada en las visitas guiadas, por medio de la sucesión de pantallas que simulan un conjunto de argumentos compuestos por simulaciones de fenómenos físicos y textos explicativos. En las pantallas de discusión, el programa evalúa las fuerzas (módulo, dirección y sentido) que estén actuando sobre el objeto en los puntos de la trayectoria seleccionados por los estudiantes, comparándolos con los resultados de las investigaciones de las concepciones alternativas. El estudiante que marque la fuerza en la dirección de la velocidad será llevado a la pantalla de 'Integración', donde podrá observar la representación de un vector (similar al que fue dibujado) que representa otro concepto físico (la velocidad vectorial adquirida) que también describiría esa

situación. En la pantalla de la ‘Confrontación’ el estudiante tiene la oportunidad de observar una simulación del movimiento que el objeto adquiriría según la fuerza resultante que él eligió. Al final de la discusión, se presenta una simulación del modelo científico correcto de la situación.

EL DESARROLLO DEL SISTEMA

La versión preliminar del sistema *hypermedia* «F&M» fue desarrollada con el programa de autoría de *Toolbook Instructor II*, utilizado para transformar en objetos concretos la especificación del diseño conceptual, el modelo de navegación y el proyecto de diseño de interfase.

Las simulaciones fueron programadas en *Openscript* (lenguaje ofrecido por el sistema de autoría utilizado), que usa las ecuaciones físicas que describen teóricamente los movimientos simulados.

Cada vez que el sistema es abierto, un archivo de texto con el nombre del usuario guarda (*saves*) el título de las pantallas visitadas, los instantes temporales en que las pantallas fueron visitadas y los datos escritos por el estudiante durante su interacción con el sistema (notas escritas, respuestas, vectores seleccionados, etc.).

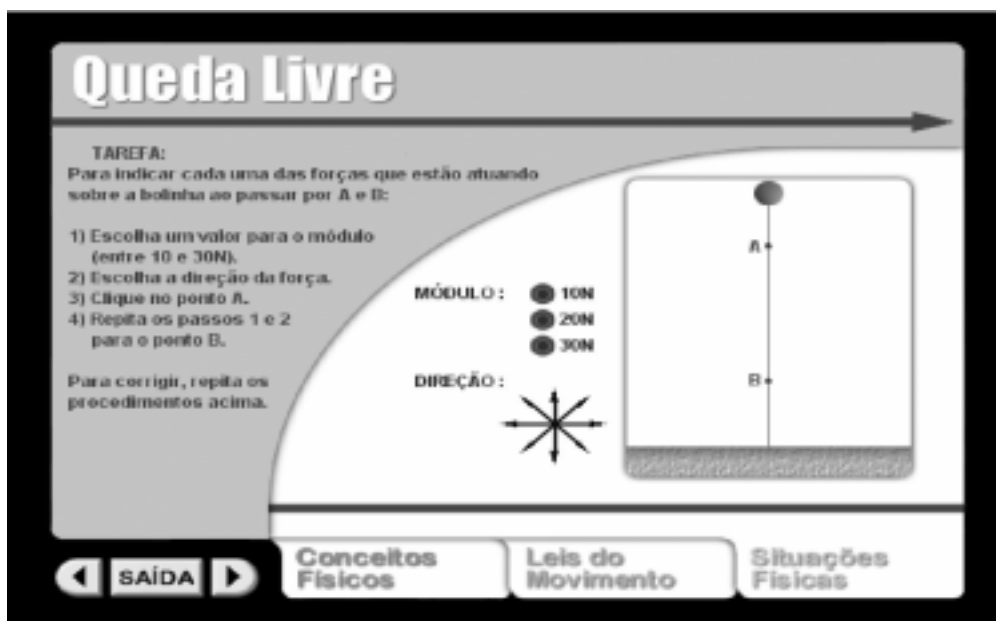
La versión preliminar del sistema *hypermedia* «F&M» fue testeada con un grupo de estudiantes de escuela secundaria (15 a 18 años). Durante la interacción de los estudiantes con el sistema fueron realizadas entrevistas, lo que permitió identificar varias dificultades, como problemas de lenguaje, contenido y navegación. Esas informaciones sirvieron para hacer correcciones para la versión definitiva del sistema.

EL CONTENIDO DEL SISTEMA

Situaciones físicas. Las situaciones físicas son contextos que ofrecen una oportunidad para que los estudiantes expresen sus ideas, concepciones alternativas (como ejemplo, mencionamos la situación física que muestra varias pelotas en movimiento con velocidades diferentes: Viennot, 1979). Para identificar las situaciones físicas incluidas en el sistema «F&M», se usó un cuestionario basado en el *Inventario del Concepto de Fuerza* (Hestenes et al., 1992), cuyo original contiene 29 preguntas objetivas de mecánica básica. En dicho instrumento, las opciones equivocadas fueron preparadas utilizando los resultados de las investigaciones en concepciones alternativas, publicadas en la literatura específica. La versión que relaciona fuerza y movimiento utilizada en el presente trabajo contiene solamente 12 preguntas de la prueba original.

Figura 2

Pantalla que abre la navegación guiada de la ‘Caída Libre’.



Este examen fue aplicado a un grupo de estudiantes principiantes de los cursos universitarios de formación de maestros de física, química y matemática para la enseñanza media, de una universidad pública. A partir de los resultados de la aplicación de ese instrumento fueron seleccionadas las situaciones físicas incluidas en el sistema «F&M»; se tomaron las preguntas cuyas respuestas presentaron frecuencia de error mayor al 50%. Ese proceso condujo hacia la elección de un grupo de seis situaciones físicas que describen los siguientes tipos de movimiento: caída libre, lanzamientos horizontal y oblicuo, fuerza impulsiva perpendicular a la velocidad y fuerza constante perpendicular a la velocidad.

En la pantalla de una situación física dada, el estudiante puede decidir seguir a través de la navegación no lineal, usando los índices de las otras clases y palabras-clave, o iniciar una visita guiada, pulsando el botón de la 'Discusión'.

El objetivo principal de las discusiones es llevar al estudiante a la reevaluación de los conceptos incluidos en las situaciones físicas que propician la reestructuración conceptual. La sucesión de pantallas simula un grupo de argumentos que varían en función de la selección de vectores de diferentes módulos, dirección y sentido, para indicar las fuerzas resultantes que están actuando sobre el objeto, en varios puntos de su trayectoria. Según la fuerza seleccionada, el programa define cuales serán las pantallas de los argumentos que compondrán la discusión. Los argumentos iniciales (descritos más adelante) son los mismos para todas las situaciones, salvo la situación que involucra una fuerza impulsiva perpendicular a la velocidad, en la cual el estudiante elige la dirección y sentido del impulso recibido por el objeto.

Por ejemplo, se le solicitará al estudiante que esté abriendo la visita guiada de la 'Caída Libre' (figura 2), que indique la fuerza resultante que actúa sobre la pelota en tres puntos de la trayectoria. Si el estudiante selecciona las fuerzas resultantes con las mismas características de la fuerza gravitacional, el 'Modelo Científico' aparecerá en la pantalla, representando la simulación de la situación del vector Peso, que actúa en el objeto en los puntos elegidos de la trayectoria.

Si el estudiante selecciona la fuerza en la dirección de la velocidad, será llevado a la pantalla de 'Integración', donde observará una simulación de la situación física idéntica a la inicial, donde también se encuentra la representación del 'Momento Lineal' vectorial adquirido por el objeto, que es similar al vector que él seleccionó. En esta pantalla, el estudiante puede abrir un campo, 'Anotaciones', para registrar sus ideas sobre las observaciones hechas. Más adelante, en la pantalla de 'Confrontación', se presenta la simulación del movimiento que el objeto adquiriría si la fuerza resultante seleccionada obedeciera a las leyes de Newton. El estudiante vuelve, así, a la pantalla del 'Modelo Científico'. A continuación, aparecen varias pantallas de argumentos específicamente relacionados al modelo científico de esa situación.

Si el estudiante selecciona fuerzas no previstas por el sistema, es remitido directamente a la pantalla del 'Modelo

Científico'. Cualquiera sea el camino seguido, el estudiante podrá regresar a la navegación no lineal y pulsar los botones de los índices de las clases.

Conceptos físicos. El contenido de las pantallas de la clase 'Conceptos Físicos' enfatiza aspectos problemáticos para el estudiante de las relaciones entre fuerza y movimiento, como por ejemplo la independencia relativa entre la fuerza aplicada y la velocidad del cuerpo y la relación directa entre la fuerza aplicada y la aceleración. Los textos explicativos incluyen una palabra-clave que permite la navegación hacia otros conceptos relacionados al mismo.

Dieciséis pantallas de conceptos físicos derivadas de la clase 'Conceptos Físicos' fueron consideradas fundamentales para la discusión cualitativa de las relaciones entre fuerza y movimiento, a saber: 'Velocidad', 'Aceleración', 'Fuerza', 'Movimiento', 'Referencial', 'Fuerza de Fricción', 'Distancia', 'Tiempo', 'Posición', 'Desplazamiento', 'Masa Inercial', 'Masa Gravitacional', 'Inercia', 'Movimiento', 'Impulso' y 'Peso'. El concepto de 'Vector', por no representar propiamente un concepto físico, no fue incluido en el índice 'Conceptos', y se abre a través de la palabra-clave respectiva, estando representado en el texto explicativo de los conceptos físicos vectoriales. Algunos conceptos que podrían ayudar a aclarar a los estudiantes ideas problemáticas de las relaciones entre fuerza y movimiento, como por ejemplo velocidad, inercia, aceleración, fuerzas, referencial y vectores, tuvieron tratamiento diferenciado a través de visitas guiadas abreviadas, de tres o cuatro pantallas, que llevan al estudiante a interactuar más activamente con el sistema conceptual.

Leyes del Movimiento. La primera ley de Newton es tratada en una visita guiada que muestra la simulación de la experiencia de un disco que se desliza inicialmente en una superficie arrugada; esta va siendo gradualmente sustituida por superficies cada vez más lisas. Por consiguiente, la distancia que el disco recorre es cada vez mayor. En un momento dado, el proceso se interrumpe y aparece una pregunta: se le pide al estudiante que haga una previsión sobre *cuál sería el movimiento del disco si la fricción fuera completamente anulada*. Cualquiera sea la respuesta, la próxima pantalla muestra la simulación del movimiento del disco en una superficie ideal (sin fricción) y un texto explicativo presenta la primera ley de Newton.

La situación física utilizada para ejemplificar la segunda ley de Newton es una experiencia que muestra un resorte fijado a un cuerpo sobre el cual una mano aplica una fuerza. Como consecuencia de esta acción, el sistema entra en movimiento con velocidad que varía en función del tiempo, indicando aceleración (Halliday y Resnick, 1993). Esta situación es usada para mostrar que la razón entre diferentes masas es inversamente proporcional a la razón entre sus aceleraciones respectivas. Para concluir, aparece la expresión de la segunda ley de Newton.

La situación que ejemplifica la tercera ley de Newton muestra el remolque de un automóvil y señala la interacción de fuerzas iguales y opuestas que actúan, una sobre la otra, a través de la cuerda tensada entre ambos vehículos.

CONCLUSIONES

Los diversos estudios mencionados anteriormente sobre el uso de software educativos proyectados según las perspectivas teóricas del CC y del DC indican que estos materiales didácticos pueden contribuir positivamente para el aprendizaje de la física.

Un estudio realizado con el sistema *hypermedia* «F&M» para investigar el aprendizaje de los principiantes universitarios (Rezende, 2001) mostró, por medio de entrevistas realizadas luego de las sesiones en el ordenador, que si por un lado la interacción con el sistema provoca cambios conceptuales en muchos de los estudiantes, por otro lado ese efecto no puede ser considerado más que como indicio del desarrollo conceptual, que, de acuerdo con diSessa (1988), es un proceso lento y gradual.

Esos resultados relativos al diseño instruccional del sistema *hypermedia* «F&M», que asocia elementos teóricos de

las dos propuestas (CC y DC), no permiten discriminar la contribución específica de las estrategias de ‘confrontación’ e ‘integración’ para el aprendizaje de la física, pero sí la contribución de ambas sumadas.

La continuidad de ese tipo de estudios se hace necesaria a fin de proporcionar informaciones que muestren cómo dichos resultados se relacionan con el diseño instruccional del software utilizado. Además, se espera dilucidar si estos se deben a la especificidad de los elementos teóricos seleccionados o a las características comunes entre los mismos, como por ejemplo, la representación de los fenómenos físicos por medio de simulaciones.

NOTA

* Apoyo financiero del Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARLSEN, D.D. y ANDRE, T. (1992). News of microcomputer simulation and conceptual change text to overcome student preconceptions about electric circuits. *Journal of Computer-Based Instruction*, 19(4), pp. 105-109.
- DISESSA, A. (1982). Unlearning Aristotelian physics: a study of knowledge-based learning. *Cognitive Science*, 6, pp. 37-75.
- DISESSA, A. (1988). Knowledge in pieces, en Forman, G. y Pufall, P. (eds.). *Constructivism in the computer age*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- HALLIDAY, D., RESNICK, R. y WALKER, J. (1993). *Fundamentos de Física I*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S/A.
- HASHWEH, M. (1986). Toward an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education*, 8(3), pp. 229-249.
- HENNESSY, S., TWIGGER, D., DRIVER, R., O'SHEA, T., O'MALLEY, C., BYARD, M., DRAPER, S., HARTLEY, R., MOHAMED, R. y SCANLON, E. (1995). Design of a computer-augmented curriculum for mechanics. *International Journal of Science Education*, 17(1), 75-92.
- HESTENES, D., WELLS, M. y SWACKHAMER, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 30.
- POSNER, G.J., STRIKE, K.A., HEWSON, P.W. y GERTZOG, W.A. (1982). Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), pp. 211-227.
- REZENDE, F. (2001). Desenvolvimento e avaliação de um sistema hipermídia para facilitar a reestruturação conceitual em mecânica básica. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 18(2), pp. 197-213.
- SCHWABE, D. y ROSSI, G. (1994). From domain models to hypermedia application: an object-oriented approach. *Relatório Técnico MCC 30-94*, Departamento de Informática, PUC-RJ.
- VIENNOT, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, 11, pp. 205-221.
- VILLANI, A. (1992). Conceptual change in science and in science education. *Science Education*, 76, pp. 223-237.