

Capítulo

3

Introdução à Modelagem de Conteúdos Educacionais

Ellen Francine Barbosa, Vanessa Araujo Borges, José Carlos Maldonado

Resumo

Considerando o contexto de desenvolvimento de módulos educacionais, a modelagem dos conteúdos associados representa uma atividade essencial para a organização do conhecimento, apoiando a identificação e a definição de conceitos e informações pertinentes e possibilitando, em última análise, que os mesmos sejam disponibilizados de modo coerente e ordenado. No entanto, apesar de sua importância, poucos são os modelos especificamente voltados à modelagem de conteúdos. Este minicurso tem como objetivo apresentar conceitos fundamentais associados à modelagem de conteúdos educacionais, discutindo sua aplicação na identificação e estruturação das partes relevantes do domínio de conhecimento a serem ensinadas. Em especial, apresenta-se um conjunto de requisitos e perspectivas de modelagem, associadas a uma abordagem integrada de modelagem a qual estabelece um conjunto de modelos genéricos para a representação de conteúdos educacionais. Uma ferramenta de apoio à modelagem e geração automática de conteúdos educacionais também é descrita. A título de ilustração, os mecanismos investigados são aplicados na elaboração de módulo educacional no domínio de teste de software.

3.1. Introdução

Temas relacionados ao ensino e aprendizagem têm sido discutidos e investigados pela comunidade científica, em diversas áreas de atuação. De modo geral, a definição de mecanismos adequados à elaboração e disponibilização de material didático, incluindo recursos para avaliação e acompanhamento do aprendiz e apoio à condução de atividades práticas, têm sido explorados a fim de fornecer subsídios ao estabelecimento de produtos e educacionais efetivos quanto às metas de aprendizagem especificadas. Módulos educacionais inserem-se nessa perspectiva, correspondendo a unidades de estudo, compostas por conteúdos teóricos integrados a atividades práticas e avaliações, cuja disponibilização aos aprendizes é apoiada por recursos tecnológicos e computacionais [Barbosa 2004].

Sob vários aspectos de desenvolvimento, a construção de módulos educacionais assemelha-se à produção de software [Barbosa and Maldonado 2011a, Barbosa 2004]. No caso de software, métodos, ferramentas e procedimentos têm sido investigados e definidos pela comunidade de Engenharia de Software a fim de estabelecer processos sistemáticos que resultem em produtos confiáveis e eficientes. De maneira análoga, o estabelecimento e a aplicação de práticas sistemáticas e disciplinadas que garantam a produtividade do processo de desenvolvimento e a qualidade dos produtos gerados também são necessários no que se refere a módulos educacionais.

Considerando o desenvolvimento de módulos educacionais, a modelagem dos conteúdos associados representa uma atividade essencial a ser conduzida. De fato, a simples utilização de recursos tecnológicos e computacionais não garante necessariamente o sucesso e a efetividade da aprendizagem. A qualidade do conteúdo educacional utilizado constitui um fator determinante, sendo fundamental a identificação e estruturação dos tópicos a serem abordados, bem como em que nível ensiná-los. Os conteúdos trabalhados pelo aprendiz devem possuir, entre outras características [Barbosa 2004]: (1) abrangência, no que diz respeito ao entendimento dos conceitos e teorias que servem como base para o domínio de conhecimento sendo ensinado; (2) profundidade, no sentido de motivar o aprendiz, a partir dos conceitos já abordados, a explorar por si mesmo outros tópicos e sub-áreas relacionadas; e (3) orientação, visando à aplicação prática do conhecimento adquirido.

Por outro lado, apesar de sua importância, poucos são os modelos especificamente voltados à modelagem de conteúdos educacionais [EML 2000, Rodríguez-Artacho 2002, Paquette et al. 2005, Pimentel 1997, Kawasaki and Fernandes 1996, Pansanato and Nunes 1999]. Além disso, como não há um conjunto pré-estabelecido de requisitos associados à essa atividade, cada um dos modelos existentes aborda aspectos distintos, os quais podem ser adequados a um determinado cenário e inadequado para outros.

Tais limitações evidenciam dois aspectos importantes a serem considerados com respeito à modelagem de conteúdos. O primeiro refere-se à necessidade de determinação de requisitos de modelagem, fundamentais à construção, comparação, avaliação e seleção de modelos para representação de conteúdos. O segundo diz respeito à necessidade de abordagens integradas, capazes de reunir e aplicar, de forma consistente, os diversos aspectos de modelagem observados.

Dentro desse cenário, este minicurso tem como principal objetivo introduzir os conceitos básicos associados à atividade de modelagem de conteúdos educacionais, discutindo sua aplicação na identificação e estruturação das partes relevantes do domínio de conhecimento a serem ensinadas. Com esse objetivo em mente, o texto está organizado como se segue. Na Seção 3.2 requisitos e perspectivas de modelagem são estabelecidas e descritas a fim de apoiar a construção e a análise de modelos para representação de conteúdos. Na Seção 3.3 apresenta-se uma abordagem integrada de modelagem, denominada *AIM-CID* (Abordagem Integrada de Modelagem – Conceitual, Instrucional e Didática) [Barbosa and Maldonado 2011b, Barbosa and Maldonado 2011a, Barbosa and Maldonado 2006a, Barbosa and Maldonado 2006b, Barbosa and Maldonado 2004, Barbosa 2004], a qual estabelece um conjunto de modelos genéricos para a representação de conteúdos educacionais. A título de ilustração, os modelos descritos são aplicados

na estruturação e organização do conhecimento sobre teste de software, apoiando a modelagem de conteúdos educacionais nesse domínio. Na Seção 3.4, aspectos de automatização da abordagem *AIM-CID* são discutidos a partir da proposição de uma ferramenta de apoio à modelagem e geração automática de conteúdos educacionais, a *AIMTool* [Borges et al. 2011, Borges and Barbosa 2009a, Borges and Barbosa 2009b]. Por fim, na Seção 3.5 são apresentadas as conclusões e perspectivas de trabalhos futuros quanto à modelagem de conteúdos educacionais.

3.2. Modelagem de Conteúdos Educacionais

A modelagem de conteúdos educacionais apoia o autor na identificação e definição de conceitos e informações associadas, possibilitando que os mesmos sejam disponibilizados de modo coerente e ordenado, com base em teorias e princípios instrucionais previamente estabelecidos [Barbosa and Maldonado 2011b, Paquette et al. 2005, Rodríguez-Artacho 2002, EML 2000]. A construção de modelos para a representação dos conteúdos requer que vários fatores sejam considerados, envolvendo desde a determinação de aspectos específicos do domínio de conhecimento, passando pela definição de atividades práticas e mecanismos para avaliação do aprendiz, até o estabelecimento de uma ordem pedagógica para a apresentação das informações modeladas.

A seguir é apresentada uma visão geral das principais iniciativas existentes com respeito à modelagem de conteúdos. A partir das iniciativas analisadas, um conjunto genérico de requisitos e perspectivas de modelagem é proposto.

3.2.1. Iniciativas de Modelagem

Linguagens de modelagem educacional, ou EMLs (*Educational Modeling Languages*) [EML 2000], têm sido propostas a fim de apoiar a descrição dos recursos educacionais utilizados no processo de ensino e aprendizagem. Segundo Villani [Villani 2007], EMLs fornecem um metamodelo que possibilita a identificação dos recursos (por exemplo, textos, figuras e ferramentas) bem como a maneira, em termos de projeto instrucional, com que os mesmos devem ser utilizados.

Em linhas gerais, uma EML enfatiza a coordenação das entidades (por exemplo, pessoas, documentos, ferramentas) envolvidas no processo de ensino e aprendizagem ao invés de definir abordagens pedagógicas específicas ou elementos instrucionais. Nesse sentido, o principal objetivo é a modelagem dos aspectos de coordenação de tais entidades juntamente com o estabelecimento de metas específicas para guiar e controlar o modo a partir do qual essas entidades devem colaborar entre si.

Na mesma perspectiva de EMLs, especificações de *Learning Design* (LD) [IMS Global Learning Consortium, Inc. 2003] estabelecem uma notação para apoiar a descrição das tarefas instrucionais em ambientes computacionais. Em geral, essa notação é expressa usando *tags* XML, as quais devem ser dispostas de acordo com o metamodelo estabelecido. Conforme observado por Paquette et al. [Paquette et al. 2005], as especificações LD não estabelecem os modelos instrucionais ou as ferramentas que podem ser utilizadas pelo projetista/instrutor no desenvolvimento dos recursos educacionais.

Ainda com base em EMLs, Rodríguez-Artacho [Rodríguez-Artacho 2002] introduziu a linguagem PALO, responsável por estabelecer uma camada de abstração para a especificação de material didático, incluindo a descrição das atividades de aprendizagem e sua estruturação. A linguagem é aderente a um *framework* de referência para descrição de materiais didáticos [Rodríguez-Artacho and Maíllo 2004]. Esse *framework* utiliza ontologias pedagógicas e de domínio como uma forma reusável e sustentável para representar e armazenar materiais, fornecendo ainda um nível de abstração pedagógica no processo de autoria.

Fazendo uma breve análise dos trabalhos descritos, é possível observar que EMLs, especificações LD e a linguagem PALO enfatizam aspectos de coordenação, deixando questões associadas à modelagem do conteúdo educacional propriamente dito a cargo do autor. Uma vez que o foco deste trabalho é modelar os “detalhes do conteúdo”, pode-se considerar que os trabalhos apresentados encontram-se em um nível de abstração distinto, mais alto, podendo inclusive ser explorados de forma complementar à abordagem *AIM-CID*, proposta na Seção 3.3.

Algumas abordagens especificamente voltadas à modelagem dos detalhes do conteúdo educacional também podem ser identificadas. É o caso, por exemplo, do método DAPHNE (Definição de Aplicações Hipermídia na Educação) [Kawasaki and Fernandes 1996], que utiliza como base a teoria de Mapas Conceituais [Novak 1990] e a técnica de Mapeamento de Informações [Horn 1989] para estruturar o conhecimento em um dado domínio de interesse. De forma semelhante, o EHDM (*Educational Hyperdocuments Design Method*) [Pansanato and Nunes 1999] estende a ideia de Mapas Conceituais a partir das categorias de conhecimento (matemático) estabelecidas no trabalho de Michener [Michener 1978]. A metodologia MAPHE (*Metodologia de Apoio a Projetos de Hipertextos Educacionais*) [Pimentel 1997], por sua vez, incorpora à teoria de Mapas Conceituais alguns relacionamentos típicos da modelagem Orientadas a Objetos [Rumbaugh et al. 1991].

Apesar das abordagens DAPHNE, EHDM e MAPHE estarem no mesmo nível de abstração da *AIM-CID*, cada uma delas enfatiza aspectos particulares da atividade de modelagem de conteúdos. Aspectos conceituais, por exemplo, são abordados no DAPHNE e no MAPHE, enquanto o EHDM apenas fornece mecanismos de apoio à modularização do domínio. Aspectos instrucionais são abordados no DAPHNE e no EHDM, ao passo que o MAPHE não estabelece mecanismos específicos para lidar com tais aspectos. Por fim, questões didáticas são tratadas em todas as abordagens por meio de relações de precedência, embora nenhum apoio a contextos dinâmicos de aprendizagem seja fornecido.

Tal cenário motivou o estudo e a definição de um conjunto de requisitos e perspectivas para a modelagem de conteúdos educacionais, apresentado a seguir.

3.2.2. Requisitos e Perspectivas de Modelagem

Dada a diversidade de características as quais podem ser consideradas durante a atividade de modelagem de conteúdos, o estabelecimento de requisitos que forneçam subsídios e parâmetros para a construção e análise de abordagens de apoio torna-se fundamental. Nesse contexto, um conjunto de requisitos especificamente voltados à modelagem de

conteúdos educacionais foi proposto [Barbosa and Maldonado 2004, Barbosa 2004]: (1) taxonomia de conceitos, (2) composição de conceitos, (3) relacionamentos específicos, (4) decomposição hierárquica, (5) diferenciação entre categorias do conhecimento, (6) ordem pedagógica, (7) contextos de aprendizagem, (8) história e (9) propagação de eventos. Tais requisitos são brevemente descritos a seguir.

- **Taxonomia de Conceitos**

De acordo com a teoria da Aprendizagem Significativa, proposta por Ausubel [Ausubel et al. 1978], a aprendizagem ocorre, principalmente, por meio de dois princípios: (1) diferenciação progressiva; e (2) reconciliação integrativa. Na diferenciação progressiva, um conceito genérico é progressivamente diferenciado em termos de detalhe e especificidade. Na reconciliação integrativa, conceitos previamente estudados são percebidos como elementos de um conceito mais amplo, mais inclusivo, sendo então integrados por um conceito mais genérico.

Conforme observado por Novak [Novak 1981], tais princípios estabelecem uma estrutura conceitual hierárquica, a qual pode ser empregada como base para a definição e organização das informações relevantes do domínio de conhecimento. Mapas Conceituais [Novak 1990, Moreira and Buchweitz 1987], vistos como ferramentas importantes na estruturação do conhecimento, estão fundamentados sob a noção de representação hierárquica do conhecimento, tendo sido criados na tentativa de interpretar e ilustrar a teoria proposta por Ausubel.

Dada a importância do estabelecimento de representações hierárquicas envolvendo os conceitos pertinentes ao domínio de conhecimento, um dos requisitos importantes associados à modelagem de conteúdos refere-se à taxonomia de conceitos, representada por meio de relacionamentos de classificação (*type-of*). Tais relacionamentos são responsáveis por associar conceitos genéricos a conceitos mais específicos, sendo considerados entre os recursos mais utilizados na estruturação do conhecimento [Pimentel 1997].

- **Composição de Conceitos**

Alguns conceitos são melhor compreendidos quando analisados em função de suas partes [Pimentel 1997]. Desse modo, relacionamentos de composição (*part-of*), responsáveis por indicar que um dado conceito é composto por outros, também constituem mecanismos de apoio à estruturação e representação das informações relevantes do domínio de conhecimento.

- **Relacionamentos Específicos**

Além dos relacionamentos de classificação (taxonomia) e de composição, aplicáveis em quaisquer domínios de conhecimento, relacionamentos específicos, com semântica própria e dependente do domínio sendo modelado, também são essenciais na representação do conhecimento, facilitando a compreensão do assunto que se deseja ensinar.

É importante observar que a utilização de relacionamentos específicos, sem uma semântica pré-definida, faz com que os modelos construídos sejam bastante

flexíveis na representação do domínio de conhecimento. Embora tal flexibilidade seja relevante na representação e compreensão do domínio, esta também pode levar a ambiguidades e inconsistências. Nesse sentido, é fundamental que relacionamentos específicos sejam definidos de forma clara e concisa, tomando os devidos cuidados para que sua utilização não resulte em modelos obscuros, de difícil compreensão.

- **Decomposição Hierárquica (Modularização)**

A representação de diversos conceitos e relacionamentos em um único espaço pode tornar a representação do domínio de conhecimento praticamente ilegível. Assim, o agrupamento de conceitos em módulos possibilita a quebra do modelo, permitindo que o conhecimento seja analisado em partes, facilitando sua leitura e compreensão.

Módulos são construídos a partir da utilização de mecanismos de decomposição hierárquica: partes do domínio que correspondem a elementos mais gerais, mais inclusivos, são decompostas em elementos mais específicos, criando assim uma hierarquia entre eles. Observa-se que, da mesma forma que a taxonomia de conceitos, a decomposição hierárquica também é baseada nos princípios propostos por [Ausubel et al. 1978]. A principal diferença está no fato de que a ideia de taxonomia é aplicável no nível de conceitos isolados enquanto a decomposição hierárquica envolve conjuntos (grupos) de conceitos.

A decomposição hierárquica permite abordar o domínio de conhecimento em vários níveis de abstração (profundidade) e granularidade. À medida em que os níveis de abstração aumentam, podem-se explorar os diferentes níveis de granularidade, tanto no que se refere à estruturação das informações como no que diz respeito à definição das sequências de apresentação entre elas. Nesse sentido, a decomposição hierárquica também é utilizada como apoio à especificação de diferentes contextos de aprendizagem, relevantes para o reuso do conhecimento.

- **Diferenciação entre Categorias do Conhecimento**

Além de conceitos, outros tipos de informação podem ser tratados como parte do conteúdo educacional. Várias teorias e técnicas discutem a categorização do conhecimento, classificando a informação sob diferentes perspectivas [Merrill 1983, Michener 1978, Horn 1989].

Merrill [Merrill 1983], por exemplo, propõe a teoria CDT (*Component Display Theory*), a qual estabelece que a aprendizagem pode ser classificada nas dimensões *conteúdo* e *desempenho (performance)*, sendo o conteúdo caracterizado nos seguintes tipos de informação:

- *Fato*: Partes de informação logicamente associadas. Nomes, datas e eventos são exemplos de fatos.
- *Conceito*: Símbolos, eventos e objetos que compartilham características e são identificados pelo mesmo nome. Constituem grande parte da linguagem e seu entendimento é essencial para a comunicação.
- *Procedimento*: Conjunto ordenado de passos, que visam a resolver um problema ou atingir um objetivo.

- *Princípio*: Explicações e deduções sobre o porquê de determinados acontecimentos e das maneiras específicas com que os mesmos ocorrem.

A diferenciação entre categorias de conhecimento também é discutida no Modelo de Michener [Michener 1978]. Em seu trabalho, Michener identifica três categorias fundamentais do conhecimento matemático, fornecendo ainda uma estrutura para cada categoria e discutindo as associações entre elas:

- *Conceito*: Refere-se às definições e aos princípios matemáticos.
- *Resultado*: Refere-se aos aspectos lógicos tradicionais da Matemática, isto é, aos teoremas e suas provas.
- *Exemplo*: Contém o material ilustrativo.

Embora o Modelo de Michener tenha sido proposto originalmente para representar o conhecimento matemático, é importante salientar que suas ideias podem ser estendidas para diferentes domínios [Pansanato and Nunes 1999].

Ainda, a técnica de Mapeamento de Informações [Horn 1989] também aborda aspectos pertinentes à diferenciação entre categorias de conhecimento. Em linhas gerais, a técnica consiste em dividir um determinado assunto em partes menores, que sejam facilmente entendidas pelo aprendiz, denominadas *mapas de informação*. Cada mapa trata de um único aspecto do tópico ao qual pertence. Sete mapas de informação são estabelecidos: *Conceito*, *Classificação*, *Estrutura*, *Fato*, *Princípio*, *Procedimento* e *Processo*.

Um mapa, por sua vez, é formado por unidades indivisíveis chamadas *blocos*. Um bloco corresponde à menor porção de informação que se pode ter acesso individualmente e contém informação de apenas um tipo. Como exemplos de blocos de informação têm-se: *Definição*, *Exemplo*, *Diagrama de Blocos*, *Lista de Classificação*, *Fórmula*, *Regra*, *Teorema*, *Sinônimo*, *Diagrama*, entre outros.

De acordo com Horn [Horn 1989], o Mapeamento de Informações possibilita a criação de conteúdos livres de redundância, nos quais cada informação é criteriosamente classificada e armazenada em seu devido lugar.

Independentemente da teoria ou técnica utilizada, é importante que as categorias de conhecimento sejam bem diferenciadas, sendo representadas sem ambiguidades.

A diferenciação entre categorias do conhecimento pode ser vista como um tipo particular de requisito envolvendo a qualificação dos componentes do material didático [Paiva 2001]. Nesse caso, os componentes são diferenciados (qualificados) a partir da função instrucional que desempenham (conceito, exemplo, exercício, avaliação, complemento, etc.). Outros critérios para qualificação, tais como grau de dificuldade (fácil, médio, difícil) e tipo de mídia (texto, áudio, vídeo, animação), também podem ser incorporados às categorias de conhecimento estabelecidas.

● Ordem Pedagógica

A sequência em que as informações devem ser apresentadas constitui um aspecto fundamental na elaboração dos conteúdos educacionais. A ideia de

ordem pedagógica refere-se ao estabelecimento de precedências e relacionamentos didáticos entre as informações, podendo representar simplesmente uma preferência na sequência de apresentação das mesmas ou, ainda, que a sequência é pedagogicamente necessária para a aprendizagem, estabelecendo a ideia de pré-requisitos entre as informações [Pansanato and Nunes 1999].

Relacionamentos de ordem pedagógica devem ser definidos com base em aspectos tais como o perfil dos aprendizes, objetivos de aprendizagem e estratégia pedagógica adotada. Nessa perspectiva, o estabelecimento de sequências de apresentação das informações é importante não apenas para a estruturação do conhecimento, mas também no que se refere ao reuso, sendo utilizado como apoio no estabelecimento de contextos de ensino e treinamento diferenciados.

É importante observar, entretanto, que tais sequências devem ser definidas de modo a não comprometer a liberdade do aprendiz na exploração das informações. Em outras palavras, a natureza exploratória, própria aos conteúdos educacionais, deve ser levada em consideração na especificação das relações de ordem pedagógica.

- **Contextos de Aprendizagem**

Contextos de aprendizagem são especificados a fim de permitir que aprendizes com perfis e objetivos distintos tenham acesso ao mesmo material didático por meio de perspectivas de ensino e treinamento diferenciadas.

É importante observar que os requisitos de ordem pedagógica e contextos de aprendizagem estão intrinsicamente relacionados. De fato, cada sequência de apresentação estabelecida entre os elementos do domínio de conhecimento pode ser vista como um contexto de aprendizagem específico.

Ressalta-se, ainda, que estruturas de acesso (tais como índices, roteiros e visitas guiadas), representando maneiras alternativas de acesso às informações, também constituem mecanismos de apoio no estabelecimento de contextos de aprendizagem. Nesse sentido, é interessante que tais recursos estejam disponíveis nos modelos utilizados.

- **História**

Existem situações nas quais os contextos de aprendizagem anteriormente visitados precisam ser recuperados. Por exemplo, suponha que o aprendiz esteja navegando por conteúdos teóricos e, em determinado ponto, seja possível exercitar os conhecimentos até então adquiridos por meio da resolução de um problema. Nesse caso pode haver uma mudança de contexto, fazendo com que o aprendiz passe a navegar não por meio de conceitos e informações teóricas, mas por exercícios e problemas. Resolvido o problema proposto, o aprendiz deve retomar seu contexto original, dando continuidade à exploração da teoria associada ao domínio de conhecimento. Mecanismos de história, tais como os definidos por Harel [Harel 1987] na técnica *Statecharts*, podem ser explorados visando a modelar esse tipo de situação.

Recursos de história também são úteis quando se deseja “lembrar” (armazenar) os caminhos percorridos pelo aprendiz durante a utilização do material. Como

consequência, aspectos referentes à avaliação e acompanhamento do aprendiz podem ser beneficiados a partir de tais mecanismos [Leiva 2003].

Por fim, o uso de história permite uma considerável diminuição do número de transições na especificação dos modelos, possibilitando reduzir a complexidade na representação do domínio de conhecimento [Turine 1998]. No caso de hiperdocumentos educacionais em que, geralmente, a quantidade de conceitos e informações complementares inter-relacionadas é grande, a ausência de mecanismos de história pode levar à explosão do número de transições (relacionamentos) representadas nos modelos pertinentes.

- **Propagação de Eventos (*Broadcast*)**

Conforme discutido anteriormente, conteúdos educacionais podem ser constituídos por diferentes tipos de mídia: texto, áudio, vídeo, animação, entre outros. Um problema típico associado à diversidade de mídias e que pode causar impactos negativos na qualidade do material e no próprio desempenho dos aprendizes é a falta/perda de sincronismo entre as mídias.

Mecanismos de propagação de eventos (*broadcast*) podem ser explorados, potencialmente, para fornecer apoio à sincronização em diversos tipos de aplicações multimídia [Turine 1998]. Por exemplo, um vídeo que termina antes de seu áudio pode gerar um sinal para finalizar a apresentação do áudio e avançar para outras partes do conteúdo. Nesse sentido, aspectos referentes à concorrência e sincronização de mídias, incluindo mecanismos de propagação de eventos, mostram-se relevantes no contexto da modelagem de conteúdos educacionais, devendo ser considerados na comparação e seleção dos modelos.

Além de requisitos, perspectivas de modelagem também foram identificadas e investigadas a fim de caracterizar os modelos para representação de conteúdos educacionais. Em geral, tais conteúdos podem ser representados a partir da descrição de conceitos e informações relevantes sobre o domínio de conhecimento, somada a exemplos, explicações, exercícios, problemas, sugestões de estudo, avaliações, entre outros elementos complementares [Barbosa 2004]. Com isso, três perspectivas correlatas de modelagem foram identificadas. A perspectiva *conceitual* trata da modelagem dos conceitos relevantes ao domínio de conhecimento e da forma com que os mesmos se inter-relacionam nesse domínio. A perspectiva *instrucional* aborda a modelagem de informações adicionais (fatos, princípios, procedimentos, etc.) e elementos complementares (exemplos, exercícios, avaliações, etc.) sobre o domínio. A perspectiva *didática* é responsável por associar os objetos anteriormente modelados, estabelecendo uma sequência de apresentação entre eles. A Tabela 3.1 sintetiza a relação entre as perspectivas e os requisitos de modelagem estabelecidos.

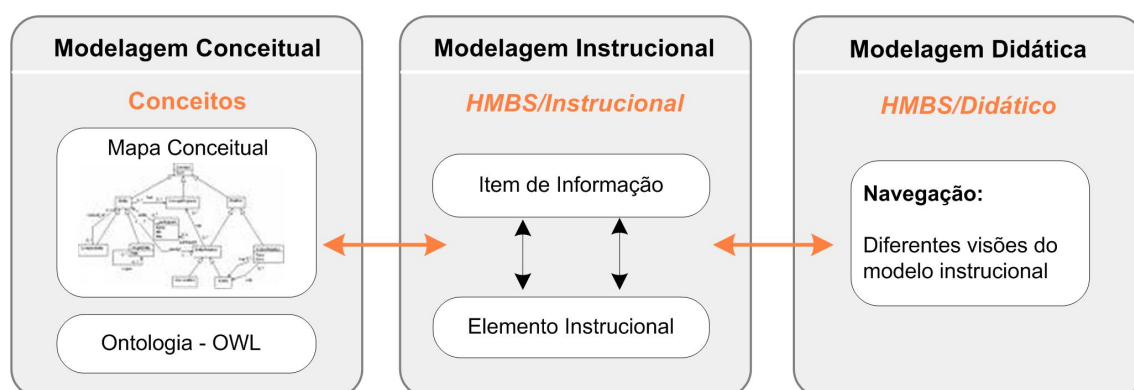
3.3. Abordagem AIM-CID

A partir das perspectivas e requisitos de modelagem identificados foi proposta a abordagem *AIM-CID* [Barbosa and Maldonado 2011b, Barbosa and Maldonado 2011a, Barbosa and Maldonado 2006a, Barbosa and Maldonado 2006b, Barbosa and Maldonado 2004, Barbosa 2004] – uma abordagem integrada para a modelagem de

Tabela 3.1. Perspectivas e Requisitos para Modelagem de Conteúdos Educacionais.

Perspectivas de Modelagem	Requisitos de Modelagem
Conceitual	Taxonomia de Conceitos
	Composição de Conceitos
	Relacionamentos Específicos
	Decomposição Hierárquica
Instrucional	Diferenciação entre Categorias do Conhecimento
Didática	Ordem Pedagógica
	Contextos de Aprendizagem
	História
	Propagação de Eventos

conteúdos educacionais. Basicamente, a *AIM-CID* estabelece um conjunto de modelos genéricos para a representação de conteúdos educacionais – Modelo Conceitual, Modelo Instrucional e Modelo Didático. Cada modelo aborda questões específicas da atividade de modelagem de conteúdos, devendo ser construído de maneira integrada e iterativa em relação aos demais. A Figura 3.1 sintetiza os principais aspectos da abordagem.

**Figura 3.1. AIM-CID: Estrutura Geral.**

Ressalta-se que os modelos genéricos propostos podem ser aplicados diretamente na construção de representações sobre o conteúdo educacional ou, ainda, atuarem como parâmetros de comparação para as abordagens de modelagem existentes. A seguir, uma visão geral de cada um desses modelos é apresentada.

3.3.1. Modelo Conceitual

O *Modelo Conceitual* consiste em uma descrição de alto-nível do domínio que se deseja ensinar, tratando de aspectos relativos à estruturação do conhecimento. Em linhas gerais, sua construção envolve a definição dos conceitos relevantes para a compreensão do domínio e a forma com que estes se inter-relacionam, e o estabelecimento de uma estrutura para a representação desses elementos.

No modelo conceitual, os elementos do domínio de conhecimento são caracterizados essencialmente em termos de conceitos. Relacionamentos entre conceitos também devem ser especificados, sendo divididos em duas classes distintas:

- **Relacionamentos Estruturais:** Possibilitam a realização de inferências a respeito do domínio de conhecimento. Representam uma categoria genérica de relacionamentos, independentes de domínio, podendo ainda ser pré-definidos de acordo com o modelo conceitual utilizado. Relacionamentos de classificação (*type-of*) e de composição (*part-of*) são exemplos representativos dessa classe.
- **Relacionamentos Específicos do Domínio:** Têm seu significado associado a um particular domínio de conhecimento, carregando semântica própria. Em outras palavras, representam relações específicas, cuja interpretação é dependente do domínio sendo modelado.

Definidos os conceitos e os relacionamentos entre eles, esses devem ser organizados e representados de forma estruturada no modelo, visando a facilitar a compreensão e o entendimento do domínio.

Para a construção dos modelos conceituais da abordagem *AIM-CID*, optou-se pela utilização da técnica de Mapas Conceituais [Moreira and Buchweitz 1987, Novak 1981, Novak 1990]. Dentre os fatores que motivaram a escolha da técnica, destacam-se: (1) sua adequação na representação de conceitos e na estruturação hierárquica do domínio de conhecimento; (2) facilidade de uso, sendo bastante intuitiva mesmo para usuários não familiarizados; e (3) fundamentação em princípios educacionais, tais como a Teoria da Aprendizagem Significativa [Ausubel et al. 1978], e grande aceitação por especialistas e profissionais da área de Educação.

Para a completa adequação da técnica de Mapas Conceituais aos requisitos explorados na perspectiva conceitual, algumas restrições e/ou extensões foram sugeridas:

- Apenas conceitos devem ser representados no mapa conceitual. Essa restrição é justificada pelo fato de que exemplos bem como outras informações associadas aos conceitos devem ser tratadas na etapa de Modelagem Instrucional estabelecida pela abordagem.
- Além de relacionamentos genéricos, já estabelecidos na definição original da técnica, primitivas para a representação de taxonomia e composição de conceitos também foram incorporadas.

Guidelines para Construção do Modelo Conceitual

Como *guidelines* associadas ao processo de construção dos modelos conceituais têm-se:

1. Identificar, de maneira genérica, os principais tópicos (assuntos) do domínio de conhecimento que se deseja ensinar, caracterizando unidades coesas de estudo (módulos).

2. Para cada módulo:

- (a) Identificar o conceito principal referente ao módulo.
- (b) Identificar os conceitos diretamente relacionados ao conceito principal. Substantivos utilizados na descrição do domínio de conhecimento podem auxiliar na identificação dos conceitos.
- (c) Identificar relacionamentos estruturais entre os conceitos selecionados.
 - i. Identificar relações de taxonomia (classificação). Verbos e expressões tais como *é classificado em* e *é um tipo de* associando dois conceitos podem auxiliar na determinação das relações da taxonomia.
 - ii. Identificar relações de composição. Verbos e expressões tais como *é formado por*, *é composto de* e *pertence a* associando dois conceitos podem auxiliar na identificação de tais relações.
- (d) Identificar relacionamentos específicos entre os conceitos selecionados. Verbos e expressões tais como *implica em*, *é consequência de*, *utiliza*, *assume*, entre outras, podem auxiliar na identificação de relacionamentos específicos.
- (e) Repetir os passos (2b), (2c) e (2d) até que todos os conceitos relevantes para o módulo em questão tenham sido representados.

3.3.2. Modelo Instrucional

Além de conceitos, várias informações adicionais e elementos complementares referentes ao domínio de conhecimento sendo modelado também podem ser identificados e representados. O *Modelo Instrucional* tem como objetivo definir tais informações e elementos, associando-os aos conceitos previamente identificados.

A construção do modelo instrucional envolve três etapas relacionadas: (1) o refinamento do modelo conceitual; (2) a definição de elementos instrucionais; e (3) a caracterização das mídias.

Na primeira etapa, a partir dos conceitos representados no modelo conceitual, informações adicionais associadas ao domínio de conhecimento são identificadas e especificadas no modelo instrucional. Tais informações são referenciadas pelo termo *item de informação*¹. Várias teorias e técnicas podem ser utilizadas a fim de apoiar o refinamento do modelo conceitual [Horn 1989, Merrill 1983, Michener 1978]. Por exemplo, considerando a teoria CTD [Merrill 1983], são especificados no modelo instrucional os seguintes itens de informação: *conceitos* (já representados no modelo conceitual), *fatos*, *procedimentos* e *princípios*.

A segunda etapa consiste em definir os elementos instrucionais a serem utilizados como complemento aos itens de informação previamente identificados. Tais elementos são representados a fim de melhor compreender e assimilar o domínio de conhecimento em questão. Basicamente, três categorias de elementos instrucionais foram definidas [Barbosa et al. 2002, Mayorga et al. 1999]:

¹Neste texto, o termo *item de informação* será utilizado para tratar, de maneira genérica, tanto conceitos como os demais tipos de informação adicionais associadas. Tais termos apenas serão diferenciados quando tal distinção se fizer necessária.

- *Elementos Explanatórios*: Correspondem a informações complementares utilizadas na explicação de um dado item de informação (exemplos, dicas, sugestões de estudo, referências).
- *Elementos Exploratórios*: Permitem que o aprendiz “navegue” pelo domínio de conhecimento, praticando os itens de informação relacionados (exercícios guiados, simulações, *hands-on* de ferramentas).
- *Elementos de Avaliação*: Permitem que se avalie tanto o aprendiz como a efetividade da aprendizagem ocorrido (avaliações diagnósticas, formativas ou somativas, na forma questões objetivas e/ou subjetivas).

Itens de informação e elementos instrucionais diferem entre si no sentido que, enquanto aqueles correspondem a partes essenciais do conteúdo educacional, estes representam elementos complementares, os quais podem ser incorporados ou não ao conteúdo, dependendo do contexto didático em que se inserem.

O modo com que os itens de informação associam-se entre si, sobretudo com respeito à sua estruturação hierárquica, deve estar representado no modelo instrucional, assim como as associações entre elementos instrucionais também devem ser especificadas. Além disso, as associações entre elementos instrucionais e itens de informação também podem ser estabelecidas. É importante observar, entretanto, que tais associações são definidas de forma genérica, sem a necessidade de explicitar, nesse nível da modelagem, os relacionamentos didáticos pertinentes.

Na terceira etapa da modelagem instrucional são caracterizadas as mídias que representam os itens de informação e elementos instrucionais. Tal caracterização teve como base a *ALOCOM-Ontology* (*Abstract Learning Object Content Model*) [Verbert et al. 2006], uma ontologia que estabelece uma representação padrão para objetos de aprendizagem e seus componentes. A *ALOCOM-Ontology* descreve tipos de componentes de objetos de aprendizagem, agrupando-os em três conjuntos [Verbert et al. 2006]: (1) fragmentos de conteúdo; (2) objetos de conteúdo; e (3) objetos de aprendizagem. Para definir as mídias adequadas aos itens de informação e elementos instrucionais foi utilizado o conjunto fragmentos de conteúdo, que agrega dois sub-conjuntos: (1) contínuo, caracterizado por animações, vídeos, áudios e simulações; e (2) descontínuo, caracterizado por textos, gráficos, links e imagens.

A Figura 3.2 sintetiza os principais elementos que compõem o modelo instrucional da abordagem *AIM-CID*.

Como apoio à construção do modelo instrucional foi adotado o modelo HMBS (*Hyperdocument Model Based on Statecharts*) [Turine 1998]. Em linhas gerais, o HMBS utiliza a estrutura e a semântica de execução da técnica de *Statecharts* na especificação formal da estrutura e da semântica de navegação de hiperdocumentos. Na etapa de modelagem instrucional, optou-se pelo uso simplificado do HMBS, considerando nesse nível somente os aspectos de decomposição hierárquica fornecidos pelo modelo.

Conforme ressaltado anteriormente, mapas conceituais são fortemente baseados nos princípios da teoria da Aprendizagem Significativa [Ausubel et al. 1978], os quais

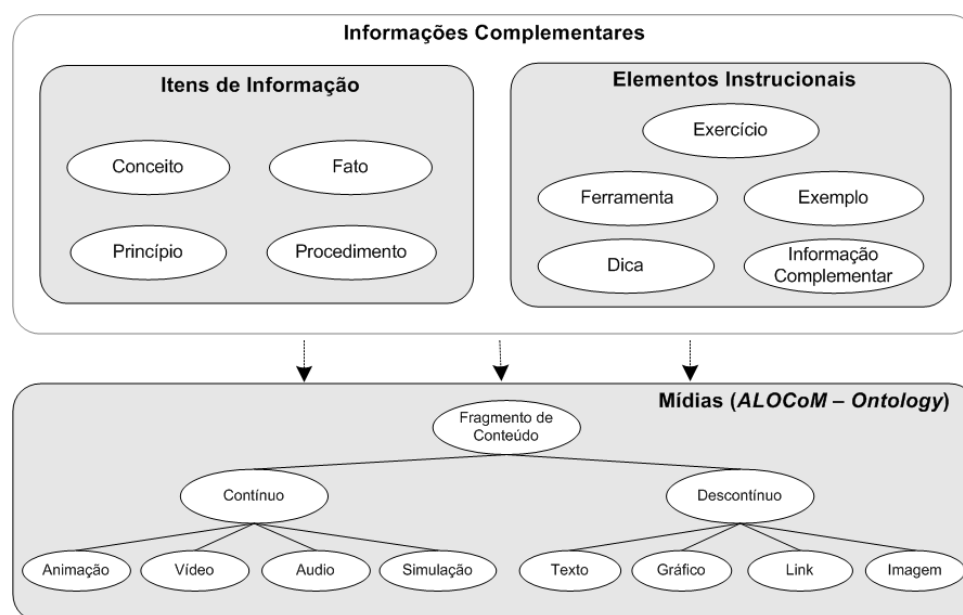


Figura 3.2. Modelo Instrucional: Componentes Principais.

ressaltam a importância da estruturação hierárquica dos conceitos. A utilização do HMBS, com ênfase nos aspectos hierárquicos por ele estabelecidos, pode ser vista como uma “evolução natural” do modelo conceitual para o modelo instrucional. Desse modo, os mecanismos de decomposição hierárquica do HMBS são utilizados para complementar, no nível instrucional, a ideia de estruturação hierárquica já explorada no nível conceitual.

Uma extensão sugerida ao HMBS a fim de garantir sua completa adequação aos aspectos considerados na perspectiva instrucional refere-se à possibilidade de representação de diferentes categorias de conhecimento. Nesse sentido, o modelo deve permitir a representação de itens de informação (fato, conceito, princípio e procedimento), elementos instrucionais (explanatórios, exploratórios e de avaliação) e mídias associadas.

Por fim, é importante observar que, além dos itens de informação e elementos instrucionais especificados neste texto, outros itens e elementos poderiam ter sido incorporados ao modelo. Por exemplo, ao invés da teoria CTD [Merrill 1983], poderia ter sido adotada a técnica de Mapeamento de Informações [Horn 1989], sendo incorporados como itens de informação as categorias de conhecimento estabelecidas por essa técnica em particular.

De fato, a diferenciação entre categorias do conhecimento proposta no modelo instrucional não está vinculada necessariamente à utilização das categorias estabelecidas por qualquer técnica específica. Ao contrário, a flexibilidade na escolha das categorias de conhecimento a serem representadas visa a garantir a independência do modelo instrucional em relação a teorias e princípios educacionais, os quais devem ser definidos pelo próprio instrutor do curso.

Guidelines para Construção do Modelo Instrucional

O processo de construção de modelos instrucionais pode ser realizado com o apoio das seguintes *guidelines*:

1. Para cada conceito representado no modelo conceitual, identificar informações adicionais relevantes que possam ser associadas ao mesmo. Expressões associadas ao conceito caracterizando nomes, datas, eventos, conjunto de passos, etapas, deduções, entre outros elementos, podem auxiliar na identificação dos itens de informação.
2. Associar os itens de informação entre si, preservando/estabelecendo a estruturação hierárquica entre eles.
3. Para cada conceito representado no modelo conceitual, definir elementos instrucionais que possam ser associados ao mesmo.
 - (a) Definir elementos explanatórios. Concentrar-se em aspectos que exemplifiquem e complementem os conceitos pertinentes ao domínio de conhecimento.
 - (b) Definir elementos exploratórios. Concentrar-se em aspectos que permitam explorar o domínio de conhecimento de maneira prática.
 - (c) Definir elementos de avaliação. Concentrar-se em aspectos que permitam avaliar o aprendizagem ocorrido tanto em termos gerais, envolvendo o domínio de conhecimento como um todo, como específicos, envolvendo assuntos pontuais pertinentes ao domínio.
4. Associar os elementos instrucionais entre si, preservando/estabelecendo a estruturação hierárquica entre eles.
5. Associar, de forma genérica, os elementos instrucionais aos itens de informação pertinentes. As associações estabelecidas não precisam ser rotuladas.
6. Para cada conceito, item de informação e elemento instrucional identificado, especificar o tipo de mídia a ser usado.

3.3.3. Modelo Didático

O *Modelo Didático* é responsável pelo estabelecimento de relações de precedência (pré-requisitos) e relacionamentos didáticos, definindo sequências de apresentação entre os objetos caracterizados no modelo instrucional (itens de informação e elementos instrucionais). Por relacionamentos didáticos entendem-se relações tais como *complementa*, *exemplifica*, *ilustra*, *motiva*, *exercita* e *avalia*, entre outras. Estruturas de acesso, tais como índices, roteiros e visitas guiadas, também podem ser utilizadas.

A partir de um mesmo modelo instrucional, diferentes modelos didáticos podem ser derivados, permitindo que maneiras distintas de utilização e disponibilização do mesmo conteúdo educacional sejam estabelecidas [Barbosa and Maldonado 2006b,

Barbosa 2004]. Modelos didáticos correspondem a visões do modelo instrucional, representando como seus elementos serão utilizados em um dado cenário de ensino e aprendizagem. Nesse sentido, tais modelos permitem que o conteúdo educacional seja adaptado e reutilizado em contextos distintos, com propósitos e objetivos de aprendizagem variados.

A construção do modelo didático também utiliza como base o HMBS. O HMBS permite que aspectos relevantes sob a perspectiva didática, tais como mecanismos de história, propagação de eventos e definição de contextos de aprendizagem, sejam tratados. Além disso, a validação do conteúdo educacional também pode ser explorada pela análise de propriedades do *Statechart* subjacente.

Como extensão ao HMBS no nível didático da abordagem *AIM-CID* foi incorporada a ideia de “especificação aberta” dos aspectos de navegação. Dependendo de fatores tais como duração do curso, objetivos de aprendizagem e público-alvo, maneiras diferenciadas de apresentação e navegação pelo mesmo conteúdo são exigidas. Uma especificação aberta permite que todas as possíveis sequências de apresentação do conteúdo sejam representadas no mesmo modelo didático. Nesse sentido, a partir de um único modelo, diversas implementações do mesmo conteúdo podem ser geradas em função dos fatores mencionados.

A especificação aberta apóia, em nível de modelagem e projeto, o estabelecimento de contextos de aprendizagem diferenciados. Além disso, quando fisicamente implementada no módulo educacional (“implementação aberta”), possibilita que a navegação seja definida pelo próprio usuário, em tempo de execução. Em outras palavras, o usuário tem total liberdade para decidir, dinamicamente, quais tópicos devem ser abordados e em que ordem os mesmos devem ser apresentados.

A navegação proporcionada a partir de um modelo especificado de maneira aberta corresponde ao extremo oposto à navegação na qual todas as sequências de apresentação são previamente estabelecidas. Neste último caso, pode-se considerar a especificação dos aspectos de navegação é como sendo “fechada”. As implicações da adoção de especificações abertas, parcialmente abertas ou fechadas na implementação de módulos educacionais são ilustradas e discutidas mais detalhadamente na Seção 3.3.4.

É importante ressaltar que nenhuma abordagem pedagógica específica é enfatizada ou considerada na construção e/ou avaliação dos modelos didáticos. O que se deseja, na verdade, é que o modelo didático construído e/ou avaliado disponha dos recursos necessários para representar as sequências de apresentação estabelecidas, sendo sua aplicação conduzida de modo independente da estratégia adotada. Nesse sentido, aspectos pedagógicos envolvendo questões pertinentes a paradigmas educacionais (por exemplo, comportamentalismo, cognitivismo, construtivismo) [Seels and Glasgow 1998], domínios de aprendizagem (tais como cognitivo, afetivo, psicomotor) [Bloom et al. 1964], entre outras, devem ser estabelecidos pelo próprio instrutor e transpostos para o modelo didático por meio das sequências de apresentação especificadas.

Guidelines para Construção do Modelo Didático

A construção de modelos didáticos pode ser apoiada pelas seguintes *guidelines*:

1. Definir sequências de apresentação entre os objetos modelados.
 - (a) Definir relações de precedência entre itens de informação. Concentrar-se em quais elementos constituem pré-requisitos para a compreensão das demais informações associadas. Aspectos de precedência preferencial (pré-requisitos desejáveis) e precedência necessária (pré-requisitos obrigatórios) também podem ser considerados.
 - (b) Definir relacionamentos didáticos entre itens de informação e elementos instrucionais. Expressões tais como *complementa*, *exemplifica*, *ilustra*, *motiva*, *exercita* e *avalia* podem auxiliar na definição dos relacionamentos didáticos.
2. A partir das sequências de apresentação definidas nos passos (1a) e (1b), estabelecer contextos de aprendizagem. Concentrar-se nos objetivos de aprendizagem e no perfil dos aprendizes. Incorporar mecanismos de história e propagação de eventos, quando pertinente.

3.3.4. Exemplo de Aplicação

A abordagem *AIM-CID* vem sendo aplicada na modelagem de conteúdos educacionais em diferentes domínio de conhecimento: teste de software, fundamentos de programação, software livre, sistemas embarcados, matemática, entre outros. Nesta seção pretende-se ilustrar a aplicação da abordagem no domínio de teste de software, a qual resultou na elaboração do módulo educacional *SoftTest*.

Em linhas gerais, conceitos, fatos, princípios, procedimentos, exemplos, informações complementares e exercícios pertinentes ao domínio de teste de software foram modelados e implementados na forma de um conjunto de transparências, ao qual foram integradas páginas web, documentos-texto, ferramentas educacionais e ferramentas específicas de teste. Ao todo, 16 sub-módulos foram desenvolvidos, abordando tópicos tais como *Fases de Teste*, *Etapas de Teste*, *Documentação*, *Ferramentas de Teste*, *Técnicas de Teste*, entre outros. A Figura 3.3 apresenta uma visão geral do módulo construído. A descrição completa da aplicação da abordagem está disponível em [Barbosa 2004].

A modelagem foi conduzida segundo a abordagem *AIM-CID*, resultando na construção dos modelos conceituais, instrucionais e didáticos associados. Para ilustrar tais modelos foi selecionado um tópico específico do domínio de teste, pertencente ao sub-módulo de *Técnicas de Teste*: o critério Análise de Mutantes [DeMillo et al. 1978]. Nas próximas seções são apresentados e discutidos os modelos referentes ao critério.

Modelagem Conceitual

A Figura 3.4 ilustra o modelo conceitual construído. Fazendo a leitura do modelo, informações a respeito do critério Análise de Mutantes podem ser inferidas:

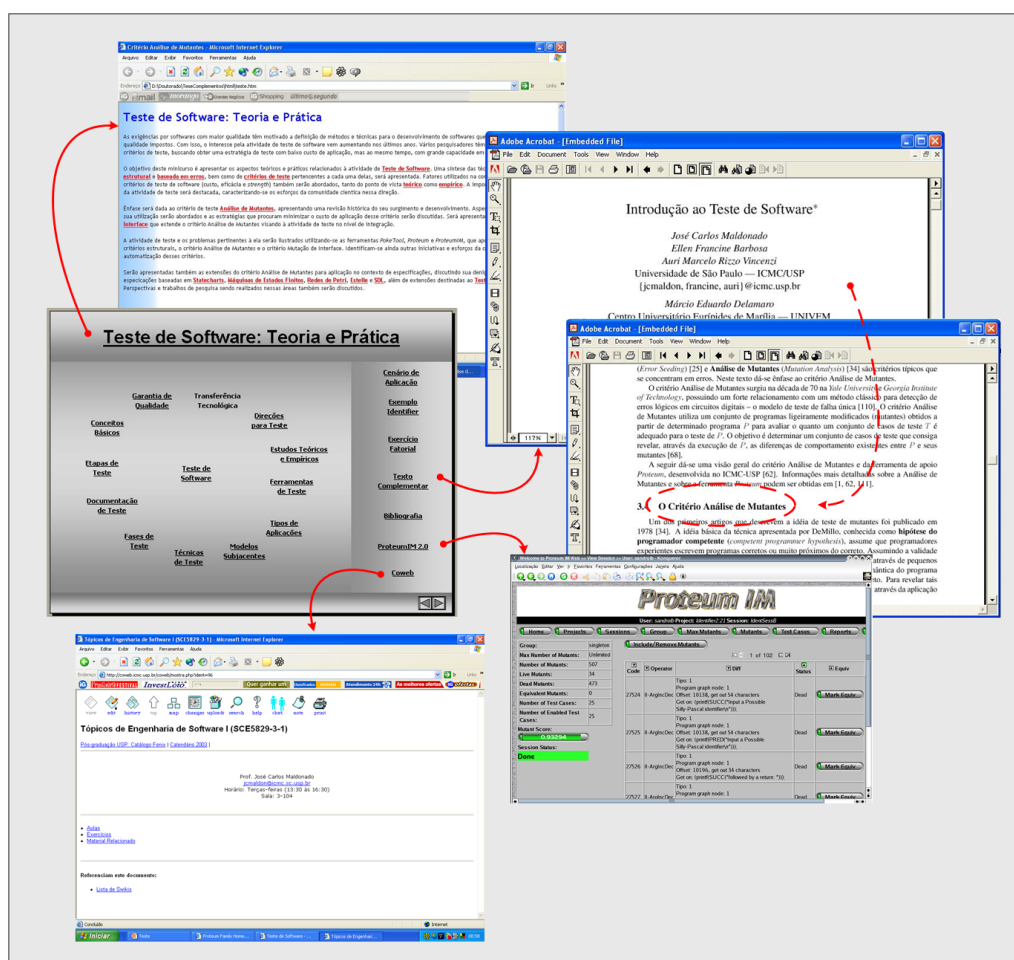


Figura 3.3. Módulo **SoftTest**: Visão Geral.

- A Análise de Mutantes é um dos Critérios de Teste pertencentes à Técnica Baseada em Erros. Outros critérios representantes dessa técnica são: Error Guessing, Error Seeding e Teste de Perturbação.
- A Análise de Mutantes assume a validade da Hipótese do Programador Competente e do Efeito de Acoplamento. O critério utiliza informações sobre Erros Típicos para derivar casos de teste e possui um Escore de Mutação associado.
- Erros Típicos são modelados por meio de Operadores de Mutação, dando origem a programas Mutantes.
- Mutantes caracterizam Transformações Sintáticas de Programas, podendo ser classificados em Mutantes Mortos, Mutantes Equivalentes e Mutantes Error-Revealing.
- Transformações Sintáticas podem resultar na Equivalência de Programas, caracterizando um Mutante Equivalente.

- Mutação Aleatória, Mutação Seletiva e Mutação Restrita representam sub-tipos do critério Análise de Mutantes.
- A Mutação Restrita pode ser utilizada no estabelecimento de Conjuntos Essenciais de Operadores, caracterizando subconjuntos de Operadores de Mutação.

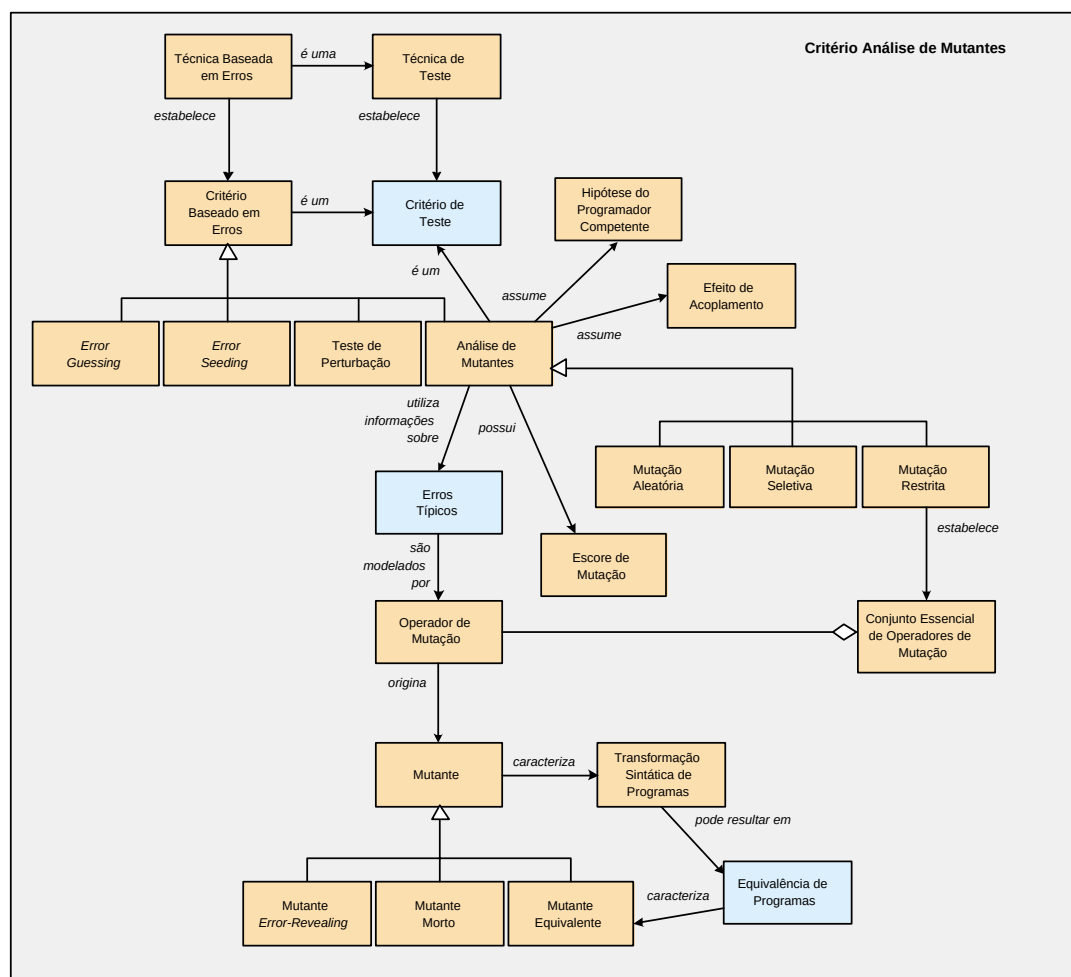


Figura 3.4. Análise de Mutantes: Modelo Conceitual.

Observa-se que o modelo construído satisfaz os requisitos e aspectos identificados como relevantes sob a perspectiva conceitual: relações de taxonomia e composição de conceitos, relacionamentos específicos ao domínio e modularização (decomposição hierárquica). Por exemplo, existe uma relação de taxonomia entre os conceitos Mutante, Mutante Morto, Mutante Equivalente e Mutante *Error-Revealing*. De forma análoga, os conceitos Conjunto Essencial de Operadores de Mutação e Operador de Mutação estão associados por meio de uma relação de composição. Já a associação entre Mutante Equivalente e Equivalência de Programas caracteriza um relacionamento específico, com um significado particular dentro do contexto da Análise de Mutantes.

Além disso, conceitos externos ao sub-módulo em questão também foram representados no modelo. Correspondem a conceitos externos: Equivalência de Programas, definido no sub-módulo *Teste de Software*; e Erros Típicos e Critério de Teste, ambos definidos no sub-módulo *Conceitos Básicos*.

Por fim, é importante ressaltar o caráter subjetivo da modelagem conceitual. Ou seja, modelos conceituais diferentes representando o mesmo conhecimento poderiam ter sido elaborados dependendo do especialista e/ou projetista envolvido em sua construção.

Modelagem Instrucional

A Figura 3.5 ilustra o modelo instrucional elaborado para o critério Análise de Mutantes.

A primeira etapa para a construção do modelo instrucional consistiu na identificação de informações relevantes que pudessem ser associadas aos conceitos representados no modelo conceitual da Figura 3.4. Conforme discutido anteriormente, o mecanismo utilizado para a diferenciação das categorias do conhecimento foi baseado na teoria CDT [Merrill 1983], estabelecendo quatro tipos básicos de informação: fato, conceito, princípio e procedimento. Por exemplo, de acordo com a Figura 3.5, a transparência referente ao estado *AnáliseMutantes* deve conter, além de sua definição (*AM:conceito:texto*), fatos (*AM:fato:texto*) e princípios (*ProgramadorCompetente:princípio:texto* e *Acoplamento:princípio:texto*) associados. Conceitos e informações mais detalhadas sobre o critério foram modelados em estados separados: *OperadorMutação*, *Mutante*, *EscoreMutação*, *Aplicação*, *AbordagensAlternativas*, entre outras.

As figuras 3.6 e 3.7 ilustram as implicações da diferenciação das categorias de conhecimento representadas no modelo instrucional na implementação das transparências referentes aos estados *Análise de Mutantes* e *Aplicação*, respectivamente. De modo geral, tem-se que:

- A definição associada ao critério *Análise de Mutantes* representa o conceito propriamente dito.
- Aspectos relacionados à construção de casos de teste a partir da *Análise de Mutantes* exemplificam um dos fatos associados ao critério.
- A Hipótese do Programador Competente e o Efeito de Acoplamento correspondem aos princípios associados ao critério.
- Os passos para a aplicação da *Análise de Mutantes* estabelecem um procedimento sistematizando sua utilização. Tanto elementos textuais como gráficos são considerados.

A segunda etapa na construção do modelo instrucional consistiu em identificar os elementos instrucionais a serem associados aos itens de informação. Basicamente, dois tipos de elementos instrucionais foram representados no modelo da Figura 3.5: (1)

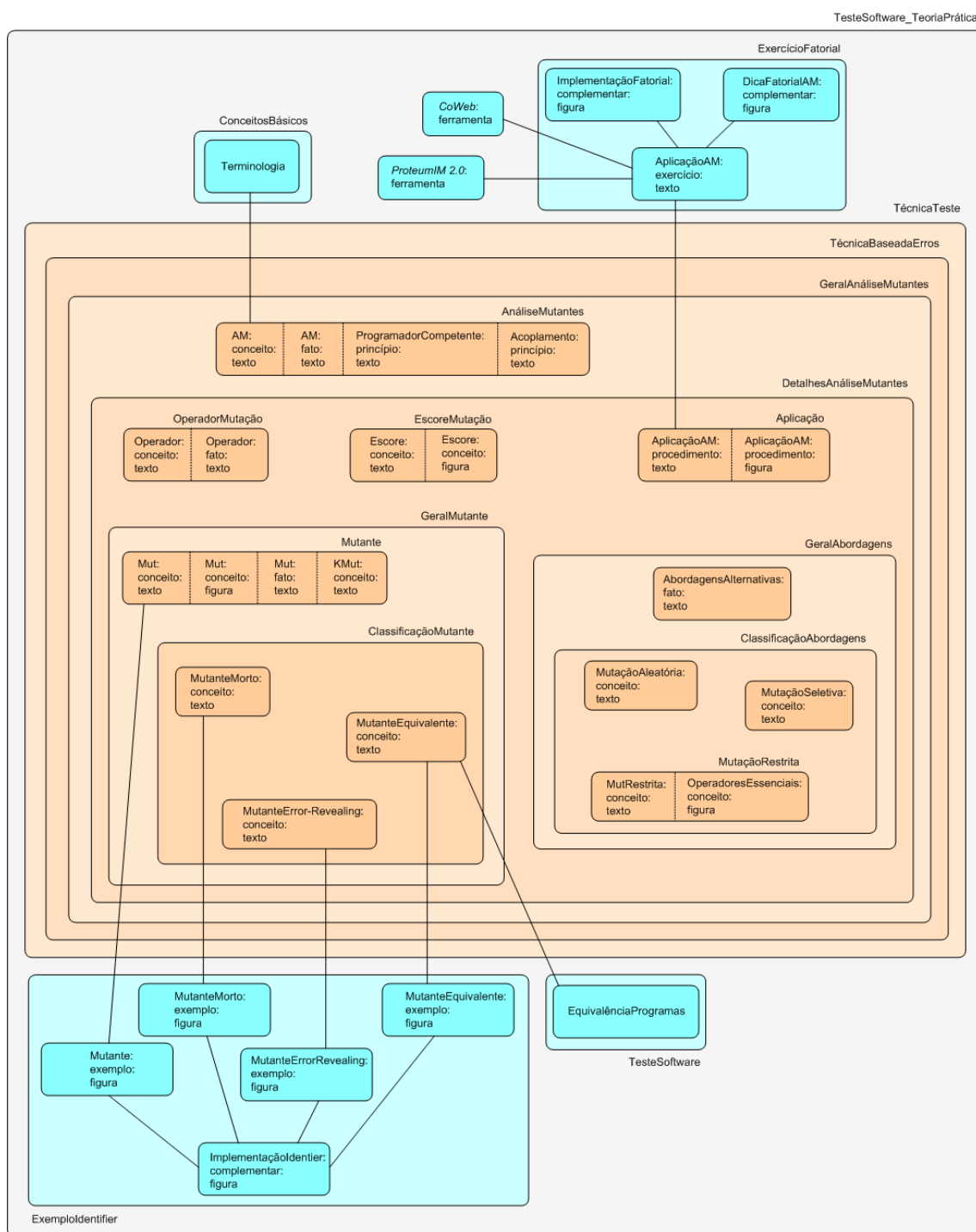


Figura 3.5. Análise de Mutantes: Modelo Instrucional.

explanatórios, na forma de exemplos e informações complementares; e (2) exploratórios, na forma de exercícios.

Considere apenas os elementos explanatórios. Os conceitos representados pelos estados `Mut:conceito:texto`, `MutanteMorto:conceito:texto`, `MutanteEquivalente:conceito:texto` e `MutanteError-Revealing:conceito:texto` foram associados, cada

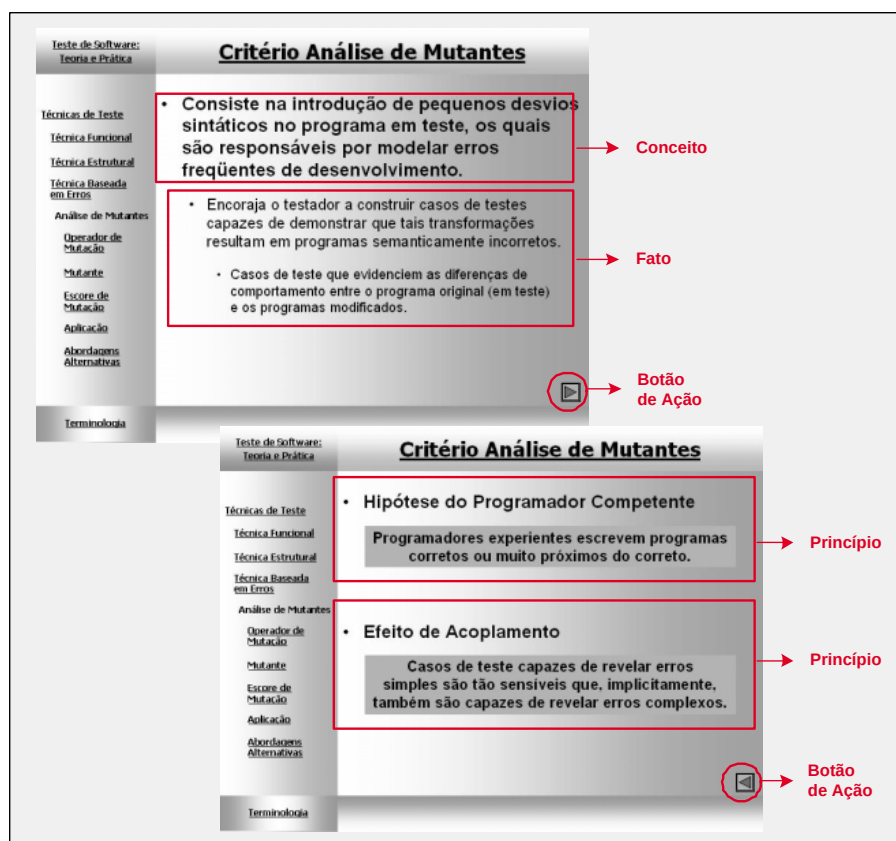


Figura 3.6. Transparências Referentes ao Estado Análise de Mutantes.

um deles, a exemplos pertinentes representados pelos estados `Mutante:exemplo:figura`, `MutanteMorto:exemplo:figura`, `MutanteEquivalente:exemplo:figura` e `MutanteError-Revealing:exemplo:figura`, respectivamente. Tais exemplos, por sua vez, possuem informações complementares, sendo associados ao elemento explanatório representado por `ImplementaçãoIdentifier:complementar:figura`. Tem-se, desse modo, elementos explanatórios complementando outros elementos explanatórios.

É importante ressaltar que os exemplos discutidos fazem parte de um elemento explanatório mais abrangente (`ExemploIdentifier`) no qual também são exemplificadas outras técnicas e critérios de teste. Por limitações de espaço, apenas elementos explanatórios pertinentes ao critério Análise de Mutantes foram representados no modelo da Figura 3.5.

Quanto aos elementos exploratórios, foi modelado um exercício, representado por `AplicaçãoAM:exercício:texto`, envolvendo a aplicação do critério Análise de Mutantes no teste de um programa que calcula o fatorial de um número. O exercício foi associado ao item de informação dado pelo estado `Aplicação`. Elementos explanatórios fornecendo informações complementares a fim de apoiar sua resolução do exercício também foram considerados: `ImplementaçãoFatorial:complementar:figura` e `DicaFatorialAM:complementar:figura`. Além disso, as ferramentas

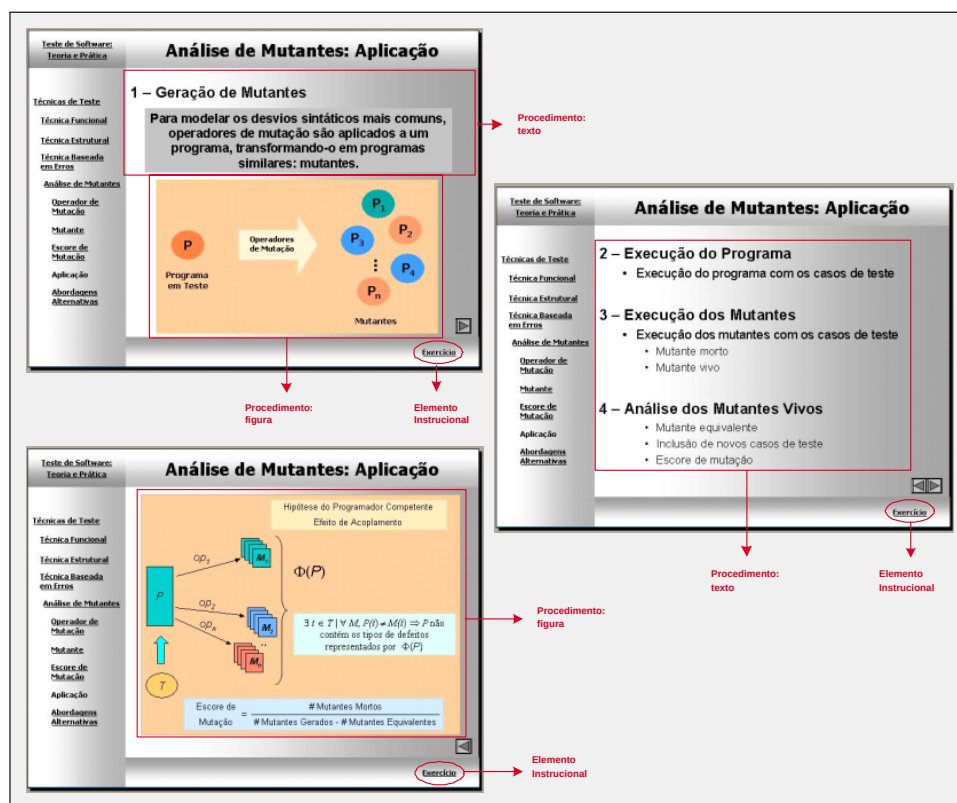


Figura 3.7. Transparências Referentes ao Estado Aplicação.

utilizadas na condução do exercício (ProteumIM 2.0:ferramenta e CoWeb:ferramenta) também foram representadas. Observa-se, ainda, que o exercício envolvendo a aplicação da Análise de Mutantes também faz parte de um elemento exploratório mais abrangente (ExercícioFatorial) no qual são exploradas outras técnicas e critérios de teste.

Na Figura 3.7 é ilustrado o *link* que ativa o exercício proposto a partir das transparências referentes ao estado Aplicação. A Figura 3.8 ilustra a transparência contendo o exercício e as transparências referentes às informações complementares, juntamente com as telas das ferramentas associadas à condução do exercício. *Links* para outras transparências que compõem o “exercício completo” também são apresentados.

Além de elementos instrucionais pertencentes a outros sub-módulos, itens de informação externos ao sub-módulo *Técnicas de Teste* também foram representados: Terminologia e Equivalência de Programas. Procura-se, com isso, preservar a ideia de conceitos externos explorada no modelo conceitual. Salienta-se, entretanto, que apenas os itens e elementos externos especificamente relacionados ao critério Análise de Mutantes foram representados no modelo.

É importante observar que a caracterização das mídias (terceira etapa da modelagem instrucional) ocorre em paralelo ao estabelecimento dos itens de informação e elementos instrucionais (primeira e segunda etapas da modelagem instrucional, respectivamente).

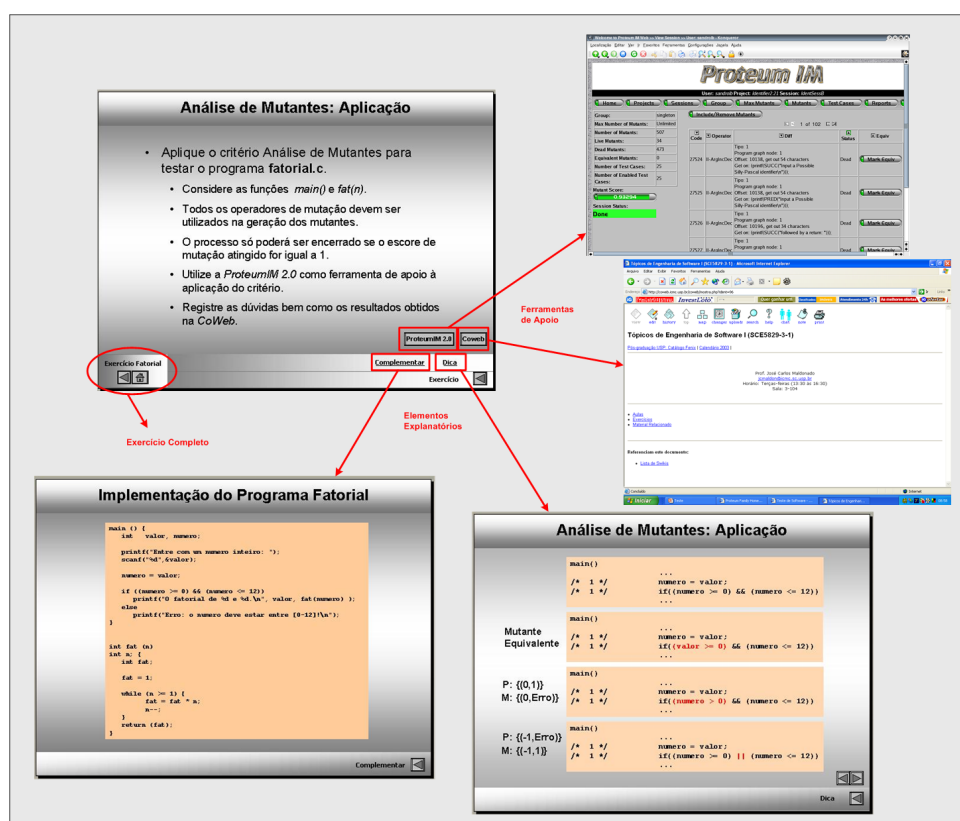


Figura 3.8. Transparencias Referentes ao Exercício Proposto para a Aplicação da Análise de Mutantes.

Por fim, visto que não compete ao modelo instrucional o estabelecimento de sequências de apresentação entre seus objetos, apenas indicativos sobre as associações existentes entre eles são fornecidos. No caso de relacionamentos envolvendo itens de informação e elementos instrucionais, linhas simples (sem setas indicando ordem ou direção) visam a representar a existência de uma associação entre tais objetos, sem no entanto fornecer indícios a respeito da sequência de apresentação envolvida. Quanto aos relacionamentos entre itens de informação, apenas os aspectos de estruturação hierárquica são considerados.

Modelagem Didática

Conforme ressaltado anteriormente, diversos modelos didáticos podem ser derivados a partir de um único modelo instrucional. Nesse sentido, a título de ilustração, três modelos didáticos (figuras 3.9, 3.10 e 3.11) foram construídos a partir do modelo instrucional da Figura 3.5.

O modelo didático da Figura 3.9 consiste em uma especificação aberta dos aspectos de navegação, na qual estão representadas todas as possíveis sequências de apresentação entre os objetos modelados.

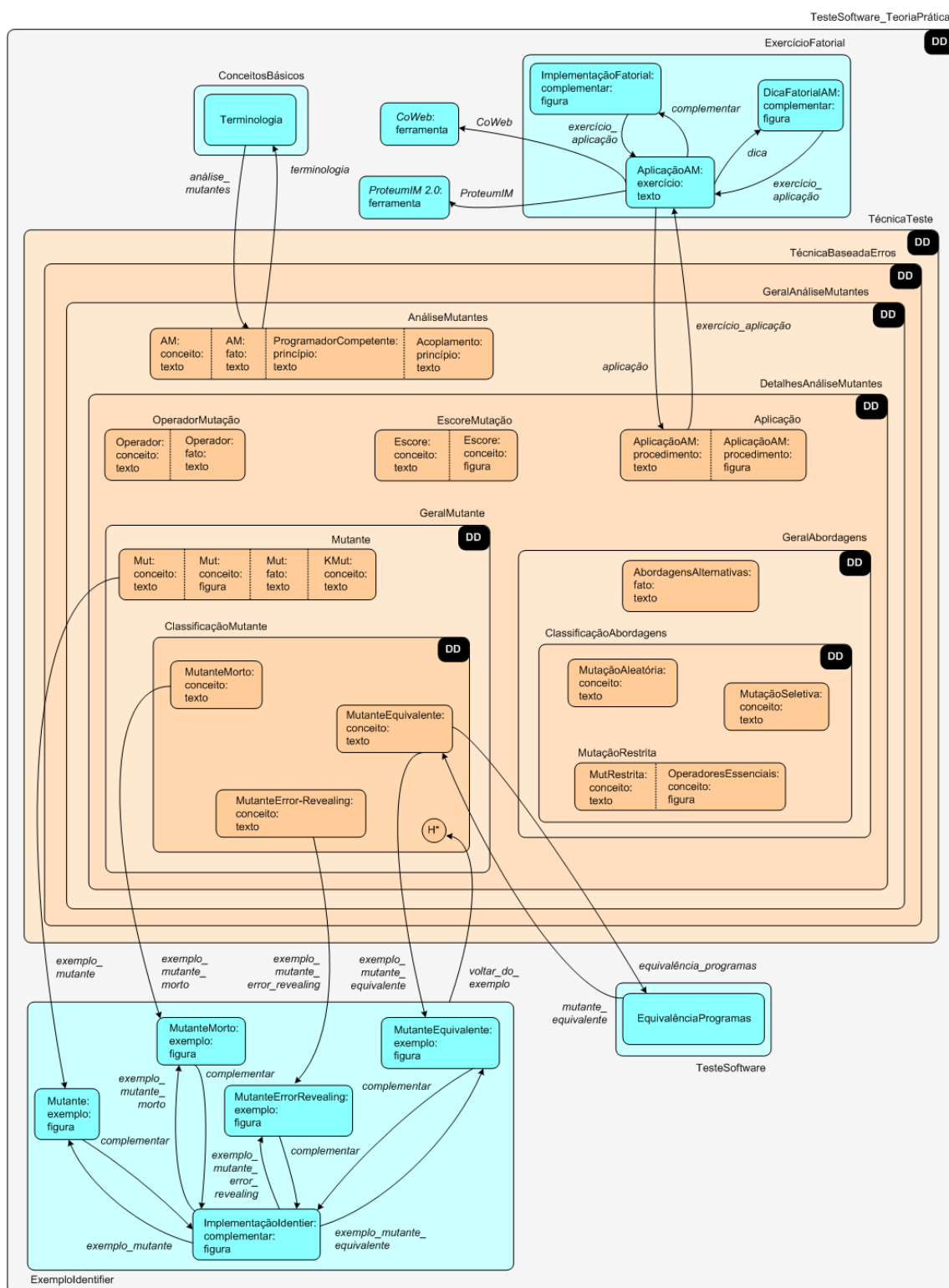


Figura 3.9. Análise de Mutantes: Modelo Didático – Especificação Aberta.

Considere o estado DD^2 DetalhesAnáliseMutantes. Todos os subestados de DetalhesAnáliseMutantes (OperadorMutação, EscoreMutação,

²Para garantir clareza e legibilidade ao modelo didático e facilitar sua compreensão, no esquema gráfico de um estado DD - *Dynamically Defined* não são representadas as transições entre seus subestados. Tais

Aplicação, GeralMutante e GeralAbordagens) estão conectados entre si por meio de transições implícitas, as quais estabelecem a navegação entre eles. Desse modo, a partir de OperadorMutação, por exemplo, pode-se atingir os estados EscoreMutação, Aplicação, GeralMutante e GeralAbordagens.

Considere agora o estado Mutante. A partir de Mutante é possível alcançar o estado ClassificaçãoMutante (e vice-versa). De fato, Mutante e ClassificaçãoMutante são subestados do estado *DD* GeralMutante e, desse modo, estão conectados entre si por meio de transições implícitas, as quais estabelecem a navegação entre eles.

Considerando a sequência (GeralMutante, DetalhesAnáliseMutantes, GeralAnáliseMutantes, TécnicaBaseadaErros, TécnicaTeste, TesteSoftware_TeoriaPratica) como sendo a hierarquia de estados-pai-*DD* de Mutante, tem-se, por exemplo, que a partir de Mutante podem ser atingidos todos os estados *OR_{DD}* de DetalhesAnáliseMutantes:OperadorMutação, EscoreMutação, Aplicação, GeralMutante e GeralAbordagens. Para definir o conjunto completo de estados que podem ser atingidos a partir do estado Mutante, a mesma análise deve ser realizada para todos os estados da hierarquia de estados-pai-*DD* de GeralMutante³. Observa-se que os estados AbordagensAlternativas e ClassificaçãoAbordagens não podem ser alcançados a partir de Mutante, visto que o estado GeralAbordagens não pertence à hierarquia de estados-pai-*DD* de GeralMutante.

O segundo modelo didático, representado na Figura 3.10, consiste em uma especificação parcialmente aberta, na qual algumas das possibilidades de navegação foram desconsideradas. Observe que o estado GeralAnáliseMutantes deixou de ser um estado *DD*. Além disso, o estado DetalhesAnáliseMutantes possui agora transições explícitas entre seus subestados. Desse modo, a partir do estado GeralMutante apenas o estado EscoreMutação pode ser atingido. De fato, a transição entre GeralMutante e EscoreMutação “inibe” as transições implícitas que partem de GeralMutante para os demais subestados *OR_{DD}* de DetalhesAnáliseMutantes, fazendo com que tais possibilidades de navegação sejam desconsideradas. Considerando novamente o estado Mutante, tem-se então que, além do estado ClassificaçãoMutante, apenas os estados EscoreMutação e AnáliseMutantes (transições explícitas) podem ser atingidos.

O terceiro modelo, representado na Figura 3.11, consiste em uma especificação fechada, na qual os aspectos de navegação são pré-determinados. Ou seja, a ordem de apresentação dos objetos é fixa, devendo ser previamente definida pelo especialista e/ou instrutor responsável pelo módulo. Nesse sentido, a partir do estado Mutante, por exemplo, apenas os estados MutanteMorto e EscoreMutação podem ser atingidos.

Nos três modelos ilustrados, além da sequência de apresentação entre itens de informação, a associação entre tais itens e os respectivos elementos instrucionais

transições ficam implícitas, uma vez que as propriedades de um estado *DD* estabelecem que todos os seus subestados são totalmente conexos.

³Por limitações de espaço, apenas estados relativos ao critério Análise de Mutantes foram representados nos modelos didáticos ilustrados nesta seção.

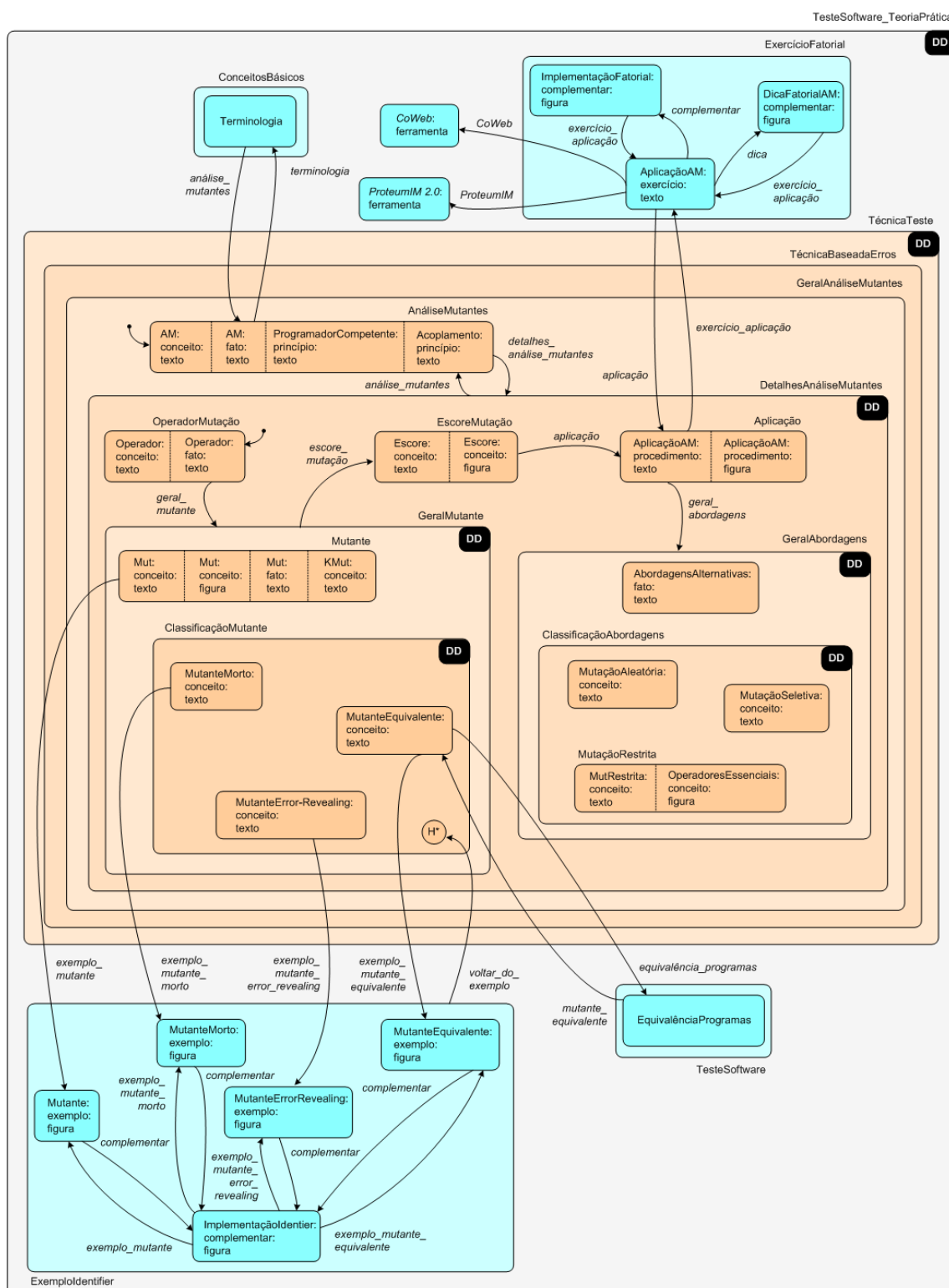


Figura 3.10. Critério Análise de Mutantes: Modelo Didático – Especificação Parcialmente Aberta.

pertinentes também foi estabelecida. Por exemplo, nas três situações, a partir de Mutante é possível atingir o estado Mutante:exemplo:figura, que representa

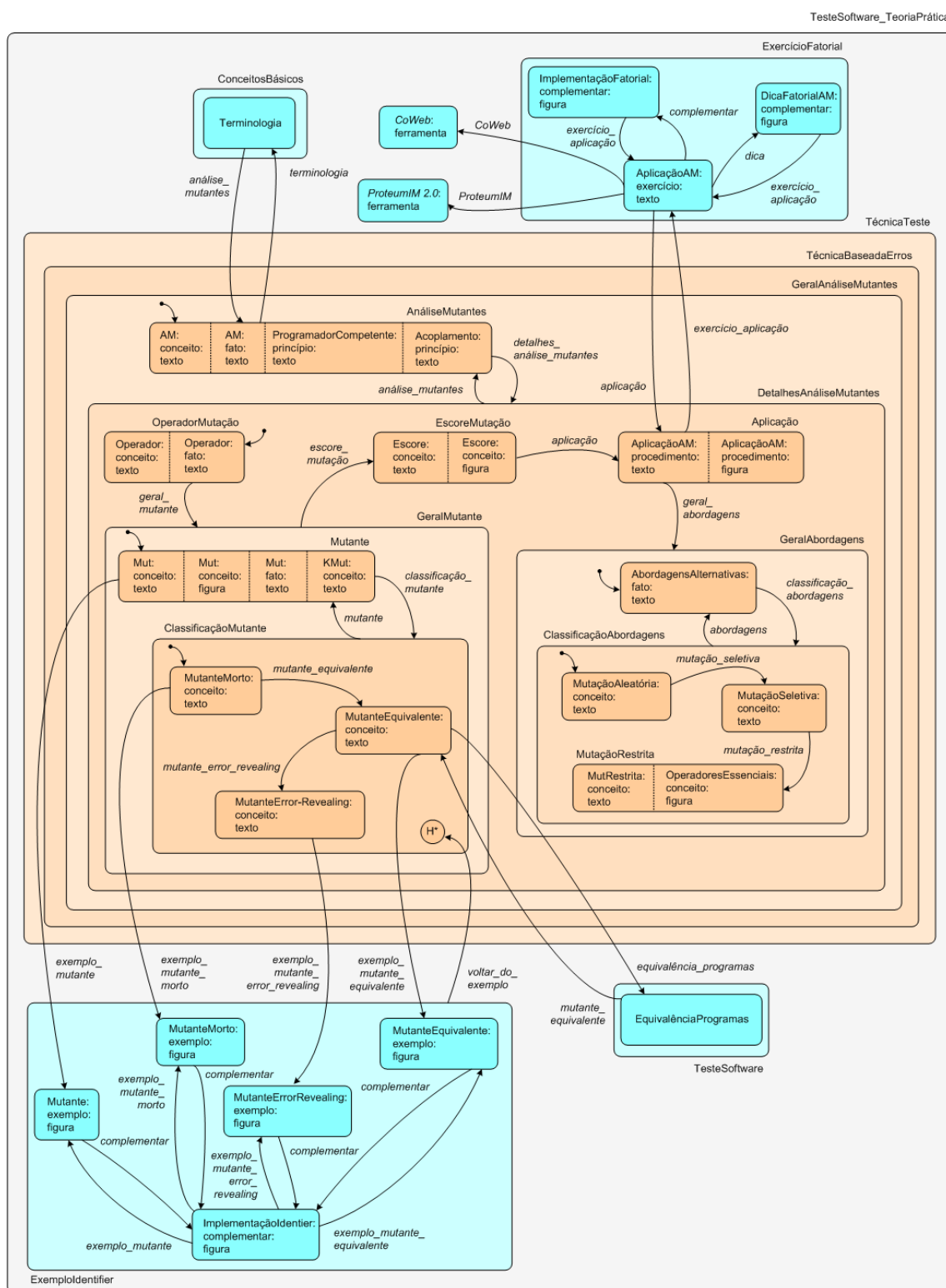


Figura 3.11. Critério Análise de Mutantes: Modelo Didático – Especificação Fechada.

um exemplo associado, dentro do contexto de `ExemploIdentifier`. A utilização do mecanismo de história no retorno do exemplo também deve ser ressaltada.

É interessante observar que as sequências de apresentação representadas nos modelos das figuras 3.10 e 3.11 correspondem a subconjuntos das possíveis sequências de apresentação estabelecidas pelo modelo da Figura 3.9. De maneira similar, as sequências representadas no modelo da Figura 3.11 correspondem a um subconjunto das sequências estabelecidas pelo modelo da Figura 3.10. De fato, o modelo didático especificado da forma aberta corresponde à base a partir da qual todas as possíveis sequências de apresentação podem ser derivadas.

A título de comparação, três versões para a transparência referente ao estado *Mutante* foram implementadas: uma considerando a especificação aberta, outra a especificação parcialmente aberta, e outra a especificação fechada. A Figura 3.12 ilustra as transparências resultantes para cada uma das especificações consideradas.

De modo geral, a implementação aberta mostra-se bastante flexível quanto à escolha, em tempo de execução, dos assuntos a serem abordados e dos caminhos de navegação. Observa-se, no entanto, que a grande quantidade de opções de navegação oferecida pode aumentar a sobrecarga cognitiva imposta ao aprendiz.

Em relação à implementação aberta, na implementação parcialmente aberta a sobrecarga cognitiva imposta ao aprendiz é menor, tendo em vista o número reduzido de opções de navegação representadas. Além disso, a implementação parcialmente aberta impõe que o contexto no qual as informações são inseridas seja sempre retomado antes que outro contexto seja apresentado. Nesse sentido, estando dentro de algum tópico pertinente à Análise de Mutantes (Operador de Mutação, Mutante, Escore de Mutação, Aplicação ou Abordagens Alternativas) e desejando explorar outros critérios de teste pertencentes à Técnica Baseada em Erros, o usuário precisa, necessariamente, retornar à transparência referente ao critério Análise de Mutantes. Se, por um lado, tal característica pode auxiliar na compreensão geral dos assuntos vistos, por outro lado, pode tornar a apresentação dos tópicos cansativa e, por vezes, repetitiva.

Quanto à implementação fechada, a sobrecarga cognitiva é ainda menor em relação às demais versões implementadas. Entretanto, as informações são apresentadas de forma específica e pontual, muitas vezes desconexa do contexto global em que a informação está inserida. Além disso, nenhum tipo de personalização do conteúdo, em tempo de execução é permitido.

A decisão sobre qual tipo de especificação utilizar deve ser baseada nos perfis dos aprendizes e do próprio instrutor, bem como nas características esperadas do módulo. No caso do módulo *SoftTest*, tendo em vista que o mesmo deve ser reutilizado em contextos distintos de ensino e aprendizagem, com objetivos e públicos variados, optou-se pela especificação e implementação abertas. Desse modo, o instrutor tem total liberdade para decidir dinamicamente quais informações e em que sequência as mesmas devem ser apresentadas. As outras especificações, em especial a especificação fechada, não foram consideradas em virtude dos aspectos restritivos impostos, os quais poderiam limitar as características dinâmicas pretendidas à apresentação do módulo.

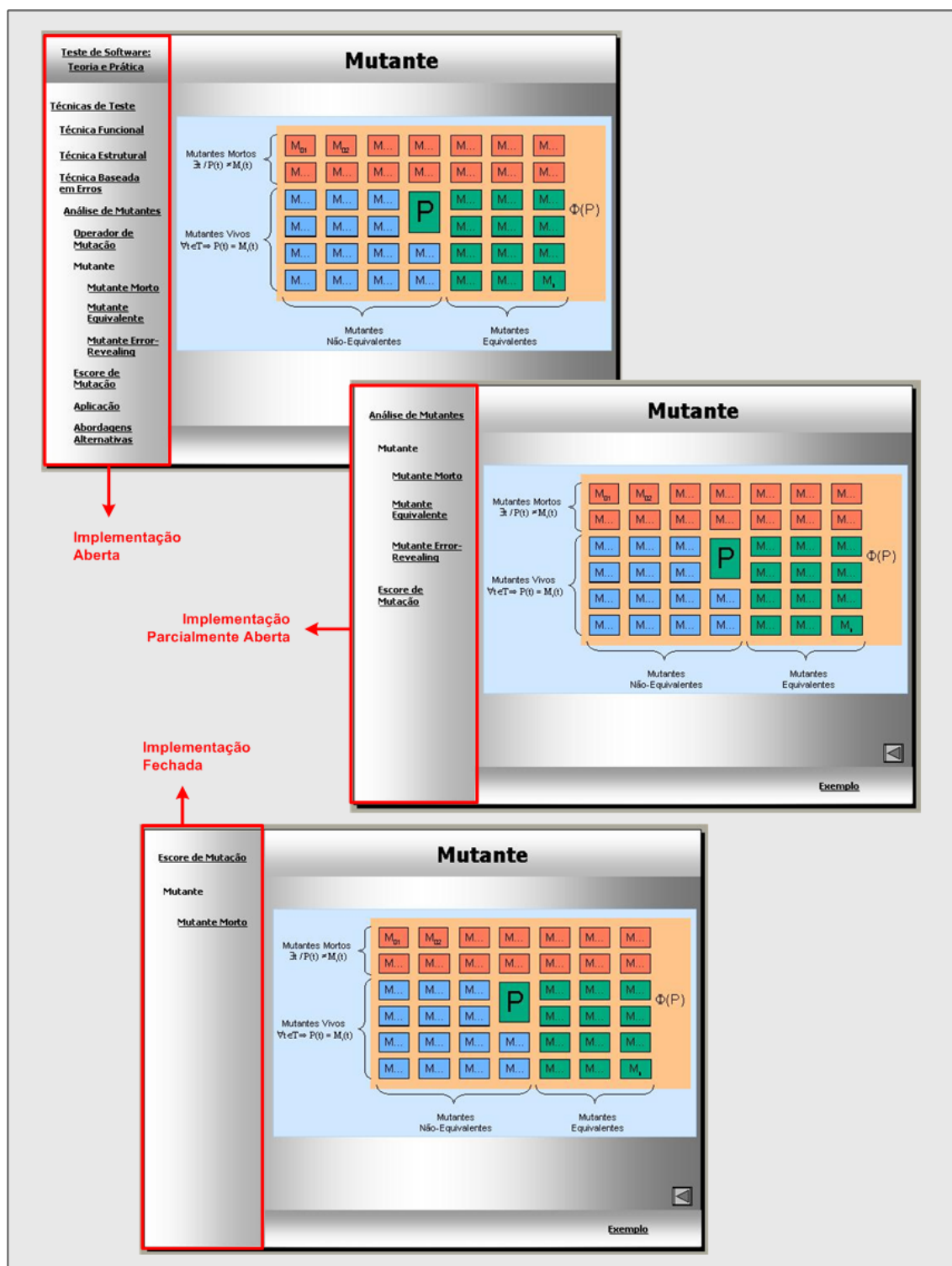


Figura 3.12. Transparências Referentes ao Estado Mutante: Versão Aberta, Parcialmente Aberta e Fechada.

3.4. Ferramenta AIM-Tool

Embora a aplicação da abordagem *AIM-CID* possa ser realizada de forma manual, a existência de ferramentas automatizadas que forneçam apoio à edição, interpretação e

execução dos modelos relacionados é um aspecto importante na tentativa de minimizar a ocorrência de possíveis erros. Ainda, a partir de especificações “executáveis” é possível apoiar a geração automática de conteúdos educacionais. Tal cenário serviu como motivação para a proposição da ferramenta *AIMTool* [Borges et al. 2011, Borges and Barbosa 2009a, Borges and Barbosa 2009b].

Em linhas gerais, a *AIMTool* tem como objetivo fornecer apoio automatizado à modelagem de conteúdos educacionais, com ênfase na construção dos modelos conceitual, instrucional e didático propostos na *AIM-CID*. Adicionalmente, as especificações resultantes também são exploradas na geração automática de conteúdos, os quais podem ser personalizados de acordo com interesses pedagógicos, perfil do aprendiz, duração do curso, público-alvo, entre outros.

A *AIMTool* é uma ferramenta livre, desenvolvida em Java. Sua arquitetura foi definida com base no padrão arquitetural MVC (*Model-View-Controller*) [Buschmann et al. 1996]. A Figura 3.13 sintetiza o funcionamento da ferramenta. Basicamente, os conceitos são inseridos (modelagem conceitual) e associados a itens de informações e elementos instrucionais (modelagem instrucional), sendo estabelecida a sequência de navegação entre eles (modelagem didática). O módulo de geração recebe a especificação resultante, gerando automaticamente o conteúdo, o qual é empacotado segundo o padrão LOM [IEEE LTSC 2002], garantindo assim a interoperabilidade do conteúdo educacional gerado.

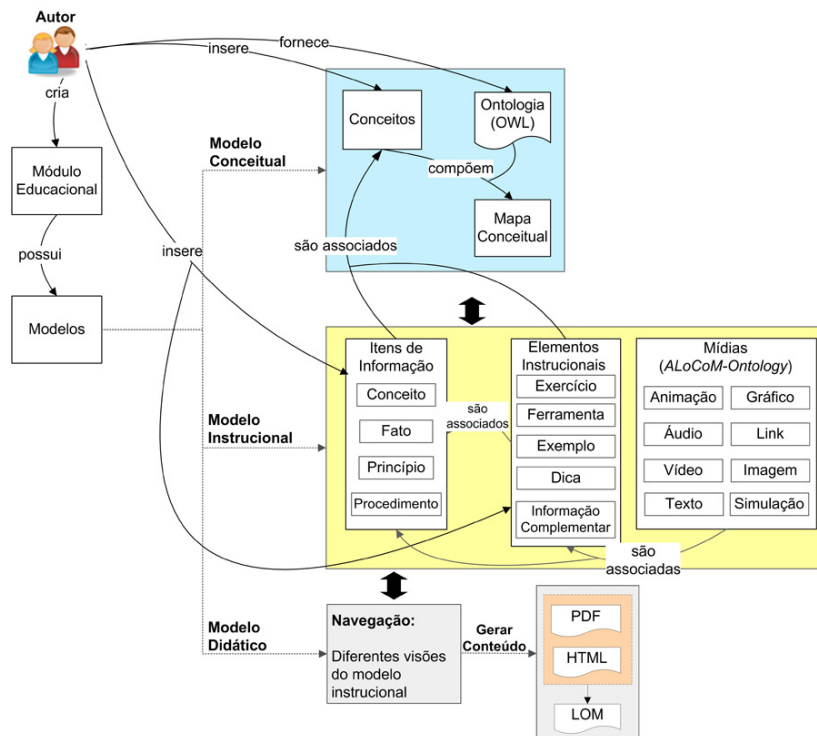


Figura 3.13. AIMTool: Visão Geral.

O desenvolvimento da ferramenta *AIMTool* resultou em uma extensão à etapa de modelagem conceitual da abordagem *AIM-CID* a fim de permitir a definição de conceitos

a partir de ontologias [Borges 2010]. Em síntese, ontologias têm por objetivo possibilitar o reuso e a interoperabilidade semântica, de modo a promover o compartilhamento e a troca de informações [Guarino 1998]. Ainda, ontologias propõem-se a fornecer uma compreensão comum e compartilhada do domínio de conhecimento de modo que o mesmo possa ser entendido tanto por pessoas como por computadores. Dentro do contexto apresentado, a adoção de ontologias no nível conceitual visa proporcionar um melhor entendimento e estruturação do domínio a ser ensinado e o consequente compartilhamento e reuso dos conceitos e relacionamentos representados. Tais aspectos favorecem não apenas o desenvolvimento distribuído dos conteúdos mas também apóiam a evolução contínua dos mesmos.

A fim de conduzir uma validação preliminar da *AIMTool*, a ferramenta foi aplicada na evolução do módulo *SoftTest*. O módulo, inicialmente desenvolvido a partir da aplicação manual da *AIM-CID* (Seção 3.3.4), foi revisitado e evoluído com base em conceitos e informações estabelecidas na ontologia *OntoTest* [Barbosa et al. 2008] – uma ontologia que apóia a estruturação, reuso e compartilhamento do conhecimento em teste de software.

Com respeito à construção do modelo conceitual, a *AIMTool* permite tanto a inserção manual de conceitos como a importação de conceitos definidos em uma ontologia. A Figura 3.14 ilustra a importação de uma ontologia como apoio à caracterização de conceitos durante a geração do modelo conceitual. A visualização do modelo (ontologia) também é apresentada. No caso, é ilustrada a importação da *OntoTest*, via um arquivo no formato OWL, utilizada como apoio à definição e estruturação dos conceitos de teste de software.

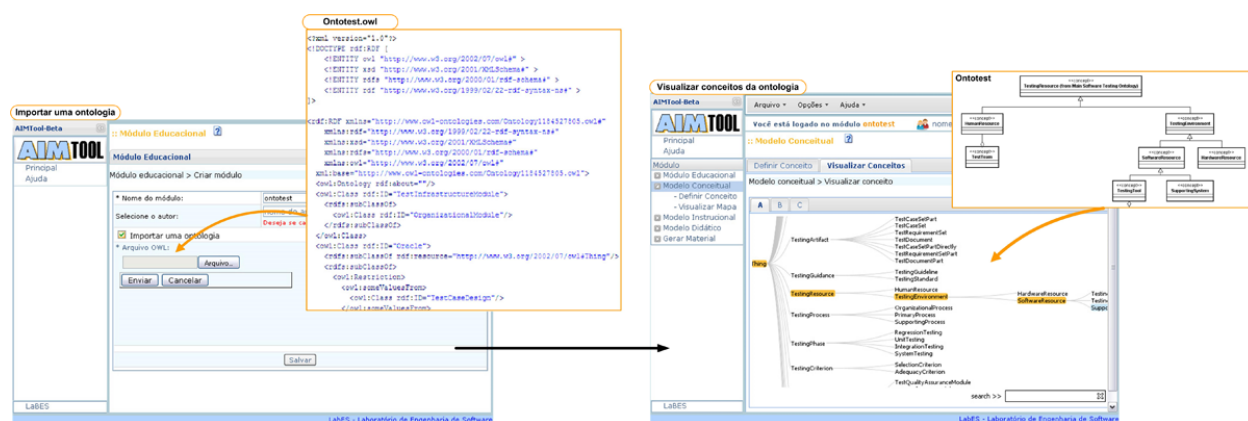


Figura 3.14. AIMTool: Construção do Modelo Conceitual para o Módulo *SoftTest*.

A Figura 3.15 sintetiza a elaboração do modelo instrucional para o módulo *SoftTest*, ilustrando a associação de itens de informação e elementos instrucionais aos conceitos previamente definidos no modelo conceitual. Observa-se que as mídias associadas aos objetos modelados também são categorizadas. Ao conceito *Técnica de Teste*, por exemplo, foi associada uma mídia do tipo texto, que corresponde à definição do conceito. Além disso, como informações complementares ao conceito, quatro itens de informação e dois elementos instrucionais foram adicionados.

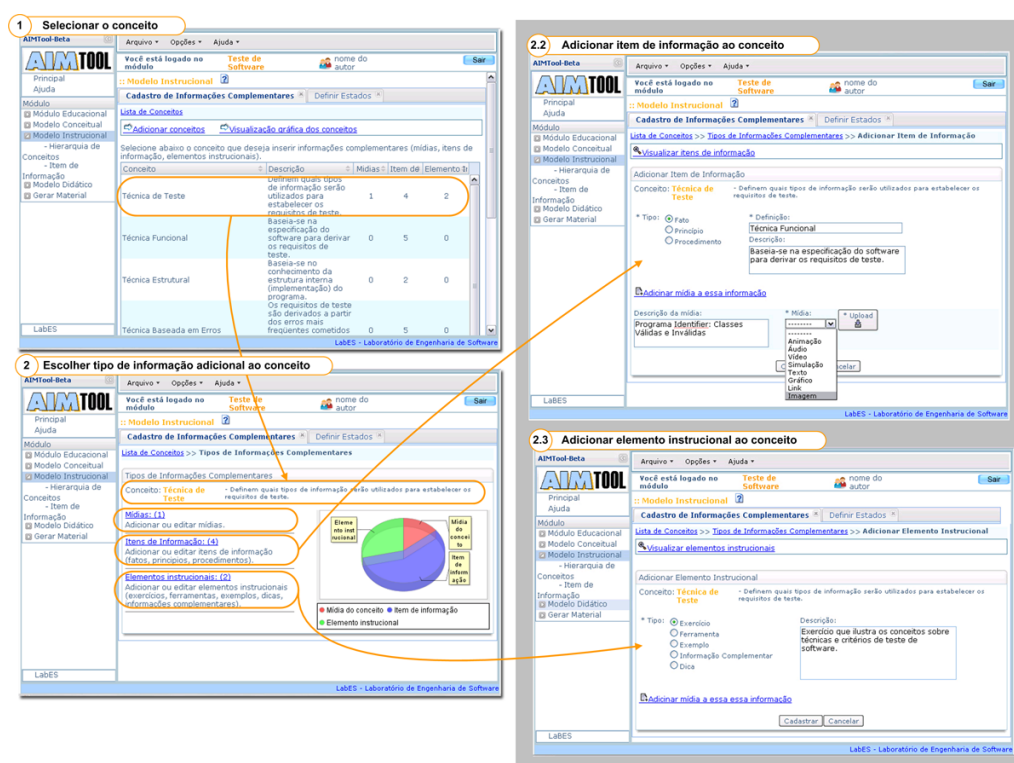


Figura 3.15. AIMTool: Construção do Modelo Instrucional para o Módulo *SoftTest*.

Ainda como parte da construção do modelo instrucional, é preciso definir os estados para compor o *statechart* subjacente. Para isso, notações de estados do tipo AND ou do tipo OR são utilizadas. As composições do tipo AND caracterizam informações que devem ser apresentadas simultaneamente, enquanto que as composições do tipo OR são utilizadas para agregar informações de um mesmo grupo, as quais devem ser apresentadas hierarquicamente. Ressalta-se que as definições de estados conduzidas na etapa de modelagem instrucional são utilizadas pela ferramenta *AIMTool* na definição do contexto navegacional do modelo didático e na geração automática do conteúdo, conforme descrito a seguir.

Para a construção do modelo didático, inicialmente o autor deve selecionar os conceitos que deverão compor o conteúdo educacional. Em seguida, a ferramenta *AIMTool* retorna ao autor todas as informações relativas a cada conceito selecionado (mídias do conceito, itens de informação e elementos instrucionais). Novamente, o autor é responsável pela escolha das informações complementares a serem adicionadas. Na Figura 3.16 são ilustrados alguns dos conceitos a serem considerados no módulo *SoftTest*, bem como as informações complementares associadas. Por exemplo, para o conceito *Técnica Funcional*, dos cinco itens de informação relacionados, três foram selecionados para compor o módulo *SoftTest*. Observa-se que para cada conceito são visualizadas tanto as informações adicionadas pelo autor principal como as informações definidas por outros autores que estejam contribuindo de forma compartilhada para a construção do conteúdo educacional.

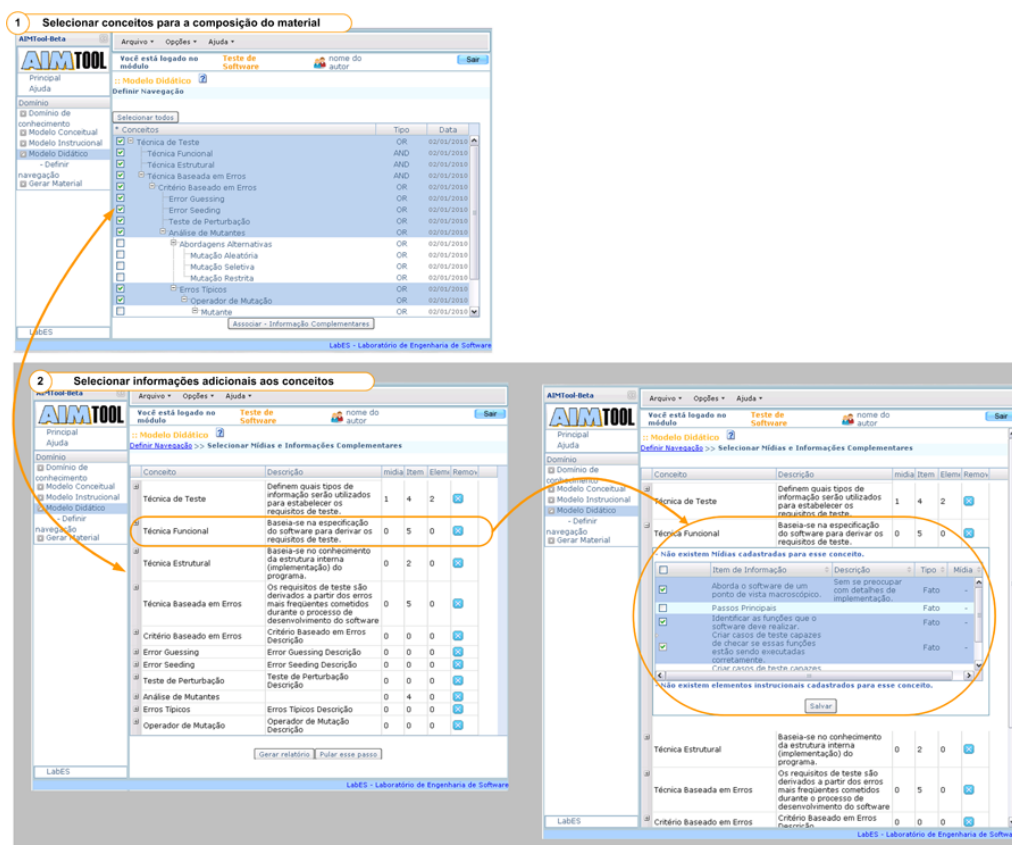


Figura 3.16. AIMTool: Construção do Modelo Didático para o Módulo SoftTest.

Finalizada a construção do modelo didático, a *AIMTool* disponibiliza um relatório dos conceitos e informações complementares selecionadas. Além disso, é gerado um arquivo SCXML *StateChart extensible Markup Language* [W3C 2008], que corresponde ao *statechart* subjacente ao modelo didático.

Tendo como base o arquivo SCXML gerado, conteúdos nos formatos PDF-Latex ou HTML podem ser automaticamente gerados. A Figura 3.17 ilustra alguns dos slides do módulo *SoftTest*, no formato PDF-Latex, automaticamente gerados a partir da aplicação da *AIMTool*. Conceitos, itens de informação e mídias associadas são apresentadas no slide principal. Como estrutura navegacional, foram utilizados índices com acesso direto as conceitos modelados. Já os elementos instrucionais associados são disponibilizados por meio de ligações internas. Ressalta-se que a especificação de contextos de navegação fornece uma estrutura de acesso mais rica, permitindo considerar estratégias de navegação distintas, de modo que o conteúdo possa ser percorrido de diferentes formas, segundo parâmetros tais como interesse do professor, público-alvo, duração e objetivos do curso.

O desenvolvimento do módulo *SoftTest* representa uma validação preliminar da *AIMTool*, evidenciando a aplicabilidade da ferramenta na modelagem e geração automática de conteúdos. Ressalta-se, entretanto, que uma validação formal da ferramenta faz-se necessária. Nesse sentido, experimentos sistemáticos e controlados vêm sendo planejados e deverão ser conduzidos em curto prazo.

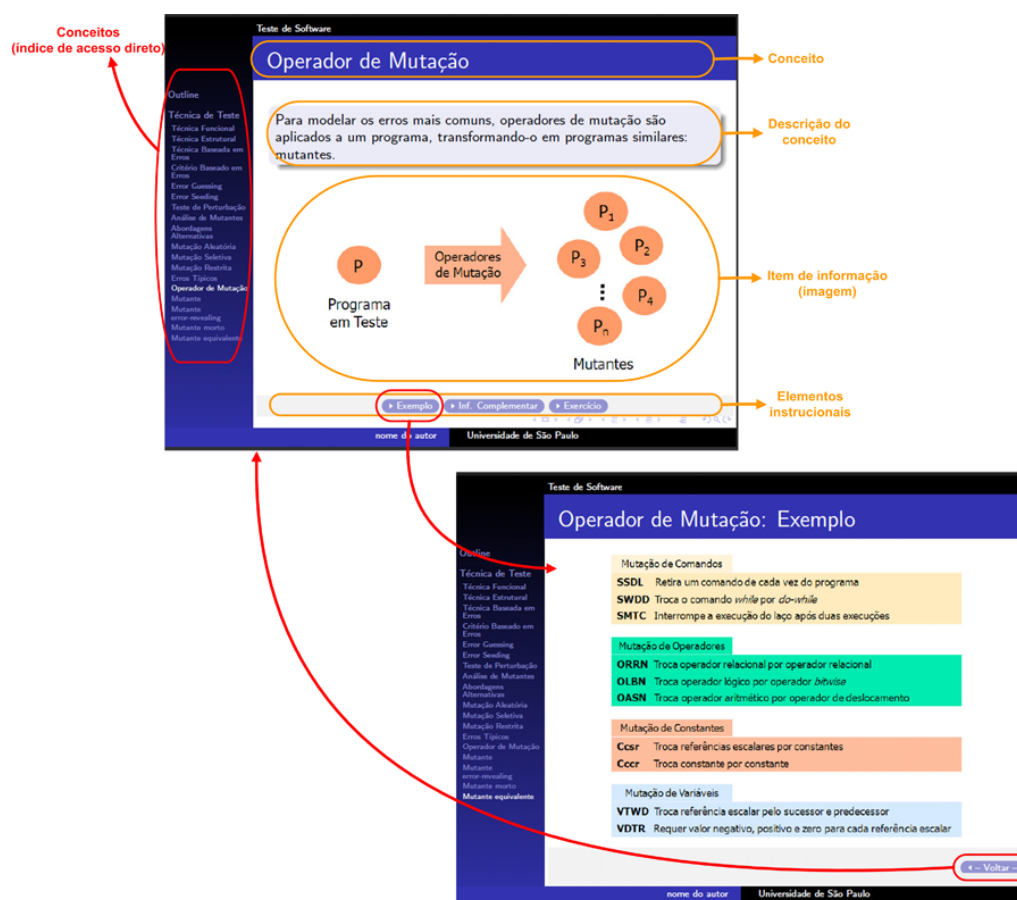


Figura 3.17. AIMTool: Slides do Módulo *SoftTest*, Gerados no Formato PDF-Latex.

3.5. Conclusão

Neste trabalho foram investigados e estabelecidos mecanismos de apoio à construção de módulos educacionais, dando-se ênfase à uma atividade específica de seu processo de desenvolvimento – a modelagem de conteúdos educacionais. Destacam-se como principais contribuições: (1) a proposição de um conjunto de requisitos e perspectivas de modelagem; (2) a proposição de um conjunto de modelos genéricos (Conceitual, Instrucional e Didático) e sua integração na abordagem AIM-CID; e (3) o desenvolvimento da ferramenta AIMTool, tendo como principal objetivo apoiar a construção dos modelos da AIM-CID, fornecendo, ainda, mecanismos para a geração automática de conteúdos educacionais. Tanto a abordagem AIM-CID quanto a ferramenta AIMTool foram aplicadas na construção de um módulo educacional para o domínio de teste de software (*SoftTest*). Embora preliminares, os resultados obtidos evidenciam a aplicabilidade dos mecanismos propostos como apoio à modelagem de conteúdos educacionais.

Como direções futuras de pesquisa, experimentos sistemáticos e controlados envolvendo a aplicação da AIM-CID e da AIMTool vêm sendo planejados. Conteúdos educacionais para diferentes domínios de conhecimento devem ser desenvolvidos, considerando ainda a participação de diversos autores, geograficamente dispersos.

A efetividade da aprendizagem proporcionada a partir da utilização dos conteúdos elaborados também deve ser analisada.

Por fim, pretende-se investigar a integração dos mecanismos de modelagem propostos a ambientes educacionais, tais como Moodle [Dougiamas 2009], Sakai [Sakai Project 2009] e DotLRN [DotLRN 2009]. De fato, apesar da grande diversidade de características e funcionalidades associadas aos ambientes educacionais existentes, uma limitação comum observada refere-se ao fato de tais ambientes concentrarem-se na criação da estrutura, armazenamento do conteúdo e controle de acesso ao material didático, deixando a tarefa de modelagem do conteúdo educacional inteiramente a cargo do autor do curso, sem qualquer tipo de suporte ou mesmo diretrizes e atividades sistemáticas que apoiem sua elaboração. A partir da integração de mecanismos de apoio à modelagem de conteúdos, espera-se contribuir na produção de materiais didáticos mais efetivos e com mais qualidade, favorecendo aspectos de reúso e personalização dos mesmos.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da FAPESP, CNPq, CAPES e INCT-SEC.

Referências

- [Ausubel et al. 1978] Ausubel, D. P., Novak, J. D., and Hanesian, H. (1978). *Educational Psychology: a Cognitive View*. Hold, Rinehart & Winston, New York, 2nd edition.
- [Barbosa and Maldonado 2006a] Barbosa, E. and Maldonado, J. (2006a). Towards the establishment of a standard process for developing educational modules. In *36th Annual Frontiers in Education Conference (FIE 2006)*, page 6p., San Diego, CA. CD-ROM.
- [Barbosa 2004] Barbosa, E. F. (2004). *Uma Contribuição ao Processo de Desenvolvimento e Modelagem de Módulos Educacionais*. PhD thesis, ICMC-USP, São Carlos, SP.
- [Barbosa and Maldonado 2004] Barbosa, E. F. and Maldonado, J. C. (2004). Mecanismos de apoio à modelagem de conteúdos: uma contribuição ao processo de desenvolvimento de módulos educacionais. In *XV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE 2004)*, Manaus, AM. CD-ROM.
- [Barbosa and Maldonado 2006b] Barbosa, E. F. and Maldonado, J. C. (2006b). An integrated content modeling approach for educational modules. In *IFIP 19th World Computer Congress – International Conference on Education for the 21st Century*, pages 17–26, Santiago, Chile.
- [Barbosa and Maldonado 2011a] Barbosa, E. F. and Maldonado, J. C. (2011a). Collaborative development of educational modules: a need for lifelong learning. In Magoulas, G. D., editor, *E-Infrastructures and Technologies for Lifelong Learning: Next Generation Environments*, pages 175–211. IGI Global, Birkbeck College, University of London, UK.

- [Barbosa and Maldonado 2011b] Barbosa, E. F. and Maldonado, J. C. (2011b). Towards the establishment of IMA-CID: An integrated modeling approach for developing educational modules. *Journal of the Brazilian Computer Society (JBCS)*, 17(4):207–239.
- [Barbosa et al. 2002] Barbosa, E. F., Maldonado, J. C., and Ricarte, I. L. M. (2002). Learning materials: Towards the establishment of guidelines for domain modeling. In *Informatics Curricula, TEaching Methods and best practice Working Conference (ICTEM 2002)*, pages 193–206, Florianópolis, SC.
- [Barbosa et al. 2008] Barbosa, E. F., Nakagawa, E. Y., Riekstin, A. C., and Maldonado, J. C. (2008). Ontology-based development of testing related tools. In *SEKE'08: 20th International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering*, pages 697–702, San Francisco, CA.
- [Bloom et al. 1964] Bloom, B. S., Mesia, B. B., and Krathwohl, D. R. (1964). *Taxonomy of Educational Objectives*. David McKay, New York.
- [Borges 2010] Borges, V. A. (2010). Uma contribuição à modelagem e à geração automática de conteúdos educacionais. Master's thesis, ICMC – Universidade de São Paulo, São Carlos/SP, Brasil.
- [Borges and Barbosa 2009a] Borges, V. A. and Barbosa, E. F. (2009a). Uma contribuição à modelagem e geração automática de conteúdos educacionais. In *XVII Workshop sobre Educação em Computação (WEI 2009) – Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (CSBC 2009)*, pages 1–10 (CD-ROM), Bento Gonçalves, RS.
- [Borges and Barbosa 2009b] Borges, V. A. and Barbosa, E. F. (2009b). Using ontologies for modeling educational content. In *7th International Workshop on Ontologies and Semantic Web for E-Learning (SWEL'09)*, pages 1–4, Brighton, UK. Short Paper.
- [Borges et al. 2011] Borges, V. A., Maldonado, J. C., and Barbosa, E. F. (2011). Towards the establishment of supporting mechanisms for modeling and generating educational content. In *26th Symposium On Applied Computing (ACM SAC 2011) – track Intelligent/Innovative Learning Environments*, pages 1–6, TaiChung, Taiwan.
- [Buschmann et al. 1996] Buschmann, F., Meunier, R., Rohnert, H., Sommerlad, P., and Stal, M. (1996). *Pattern-oriented software architecture: a system of patterns*. John Wiley & Sons, Inc. New York, NY, USA.
- [DeMillo et al. 1978] DeMillo, R. A., Lipton, R. J., and Sayward, F. G. (1978). Hints on test data selection: Help for the practicing programmer. *IEEE Computer*, 11(4):34–43.
- [DotLRN 2009] DotLRN (2009). DotLRN: Open source learning management system. (<http://dotlrn.org/>).
- [Dougiamas 2009] Dougiamas, M. (2009). Moodle – a free, open source course management system for online learning. (<http://moodle.org/>).

- [EML 2000] EML (2000). Educational modeling language. <http://hdl.handle.net/1820/81>.
- [Guarino 1998] Guarino, N. (1998). Some ontological principles for designing upper level lexical resources. In *LREC'98: 1st International Conference on Lexical Resources and Evaluation*, pages 527–534.
- [Harel 1987] Harel, D. (1987). Statecharts: A visual formalism for complex systems. *Science of Computer Programming*, 8:231–274.
- [Horn 1989] Horn, R. E. (1989). *Mapping Hypertext*. Lexington: Lexington Institute.
- [IEEE LTSC 2002] IEEE LTSC (2002). Learning Object Metadata (LOM).
- [IMS Global Learning Consortium, Inc. 2003] IMS Global Learning Consortium, Inc. (2003). IMS Learning Design Information Model, Final Specification. <http://www.imsglobal.org/learningdesign>.
- [Kawasaki and Fernandes 1996] Kawasaki, E. I. and Fernandes, C. T. (1996). Modelo para projeto de cursos hipermídia. In *VII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE 96)*, pages 227–240, Belo Horizonte, MG.
- [Leiva 2003] Leiva, W. D. (2003). *Um Modelo de Hipertexto para Apoio ao Ensino Mediado pela Web*. PhD thesis, ICMC-USP, São Carlos, SP.
- [Mayorga et al. 1999] Mayorga, J. I., Verdejo, M. F., Rodríguez-Artacho, M., and Calero, M. Y. (1999). Domain modelling to support educational web-based authoring. In *TET 99 Congress*, Norway.
- [Merrill 1983] Merrill, M. D. (1983). Component display theory. In *Instructional Design Theories and Models: An Overview of their Current States*, Hillsdale, NJ. Lawrence Erlbaum.
- [Michener 1978] Michener, E. R. (1978). Understanding understanding mathematics. *Cognitive Science*, 2(4).
- [Moreira and Buchweitz 1987] Moreira, M. A. and Buchweitz, B. (1987). *Mapas Conceituais: Instrumentos Didáticos, de Avaliação e de Análise de Currículo*. Editora Moraes Ltda., São Paulo.
- [Novak 1981] Novak, J. D. (1981). *Uma Teoria de Educação*. Editora Pioneira, São Paulo.
- [Novak 1990] Novak, J. D. (1990). Concept mapping: A useful tool for science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 27:937–949.
- [Paiva 2001] Paiva, D. M. B. (2001). Proposta e avaliação de um conjunto de requisitos para sistemas de autoria hipermídia educacional. Master's thesis, ICMC-USP, São Carlos, SP.

- [Pansanato and Nunes 1999] Pansanato, L. T. E. and Nunes, M. G. V. (1999). Autoria de aplicações hipermídia para ensino. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, 1(5):103–124.
- [Paquette et al. 2005] Paquette, G., Teja, I., Léonard, M., Lundgren-Cayrol, K., and Marino, O. (2005). An instructional engineering method and tool for the design of units of learning. In Koper, R. and Tattersall, C., editors, *Learning design: A Handbook on Modeling and Delivering Networked Education and Training*. Springer, The Netherlands.
- [Pimentel 1997] Pimentel, M. G. (1997). MAPHE: Metodologia de apoio a projetos de hipertextos educacionais. In *VIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE 97)*, pages 351–368, São José dos Campos, SP.
- [Rodríguez-Artacho 2002] Rodríguez-Artacho, M. (2002). PALO language overview. Technical report, UNED University, Madrid, Spain. STEED Project.
- [Rodríguez-Artacho and Maíllo 2004] Rodríguez-Artacho, M. and Maíllo, M. F. V. (2004). Modeling educational content: the cognitive approach of the PALO language. *Educational Technology & Society*, 7(3):124–137.
- [Rumbaugh et al. 1991] Rumbaugh, J., Blaha, M., Premerlani, W., Eddy, F., and Lorenzen, W. (1991). *Object-Oriented Modeling and Design*. Prentice Hall International, Englewood Cliffs, NJ.
- [Sakai Project 2009] Sakai Project (2009). Collaboration and learning environment for education. <http://sakaiproject.org/>.
- [Seels and Glasgow 1998] Seels, B. and Glasgow, Z. (1998). *Making Instructional Design Decisions*. Columbus: Prentice-Hall, Inc., 2 edition.
- [Turine 1998] Turine, M. A. S. (1998). *HMBS: Um Modelo Baseado em Statecharts para a Especificação Formal de Hiperdocumentos*. PhD thesis, IFSC-USP, São Carlos, SP.
- [Verbert et al. 2006] Verbert, K., Jovanovic, J., Duval, E., Gasevic, D., and Meire, M. (2006). Ontology-Based Learning Content Repurposing: The ALOCoM Framework. *International Journal on E-Learning*, 5(1):67–74.
- [Villani 2007] Villani, S. A. (2007). Learning objects and instructional design: Theories, methods and tools useful in creating effective e-learning environments. In Koochang, A. and Harman, K., editors, *Learning objects: Theory, praxis, issues, and trends*, pages 371–416. Informing Science Press, Santa Rosa, California.
- [W3C 2008] W3C (2008). SCXML – State Chart extensible Markup Language: State Machine Notation for Control Abstraction.