
Um Assistente Inteligente para o Ensino das Seções Cônicas

Luiz Henrique Zeferino^{1,2}, Clevi Elena Rapkiewicz¹, Gudelia Morales¹

¹Laboratório de Engenharia de Produção – Universidade Estadual do Norte Fluminense
(UENF)

Av. Alberto Lamego, 2000 – 28015-620 – Campos – RJ – Brazil

²Fundação de Apoio à Escola Técnica (FAETEC)

Av. Clarimundo de Melo, 847 – 21230-280 – Rio de Janeiro – RJ – Brazil

{lhzeferino, cleve, gudelia}@uenf.br

Abstract. *Intelligent Tutoring Systems (ITS) are characterized by making possible personalized instruction. This paper presents the constituent elements of a ITS that it is being developed with the objective of being an auxiliary tool for the mathematical education of the High School, specifically for a topic of the content of Analytical Geometry - Conic Sections. In that system he feels emphasis to the teaching strategies and the interface, due to the characteristics of the domain. For elaboration of the domain they were researched characteristics of the High School Brazilian text book, computer algebra systems (CAS) and relative sites to that topic of the Mathematics.*

Resumo. *Sistemas Tutores Inteligentes (STI) caracterizam-se por possibilitar instrução personalizada. O presente trabalho apresenta os elementos constituintes de um STI que está sendo desenvolvido com o objetivo de ser uma ferramenta auxiliar de disponibilidade livre para a educação matemática do Ensino Médio, especificamente para um tópico do conteúdo de Geometria Analítica - as Seções Cônicas. Nesse sistema dá-se ênfase às estratégias de ensino e à interface, devido às características do domínio. Para elaboração do domínio foram pesquisadas características do livro didático brasileiro da Matemática do Ensino Médio, sistemas de computação algébrica (CAS) e sites relativos a esse tópico da Matemática.*

1. Introdução

Há uma tendência de se utilizar técnicas de inteligência Artificial (IA) em programas educacionais. Segundo [Ramos 1996], os produtores de software educacional desse tipo, chamados Sistemas Tutores Inteligentes, entendem que podem ser realizados sistemas eficientes de modelagem dos aprendizes, de maneira que possam ser alcançadas seqüências individualizadas de apresentação de domínios de conhecimento e o reforço dos conteúdos possam ser feitos de maneira personalizada.

Sistemas Tutores Inteligentes (STI) permitem a emulação de um professor, de forma que um STI sabe o que deve ensinar, como deve ensinar, e ainda é capaz de obter informações pertinentes sobre o estudante que está aprendendo, através de uma avaliação contínua [Viccari e Giraffa 1996].

Um problema revelado pela prática docente de um dos autores¹ deste trabalho e pela análise de livros textos brasileiros de Matemática para o Ensino Médio, efetuada por [Lima 2001], revela que o tópico *Seções Cônicas* (integrante da Geometria Analítica) não é lecionado (quando o é) de maneira eficiente. Dentre as dificuldades encontradas para o professor cumprir esse tópico podem ser destacas duas: i) o número de pré-requisitos é grande, pois esse tópico utiliza a Matemática Numérica, a Simbólica e a Gráfica; ii) o número elevado de alunos por turma (até 60 alunos), o que não permite ao professor uma atuação adequada junto aos alunos que apresentam maiores dificuldades.

¹ Experiência de dez anos como professor de Matemática do Ensino Médio e de um curso de Licenciatura em Matemática na cidade de Campos dos Goytacazes.

A suposição neste trabalho é que um STI pode auxiliar o professor na resolução desses dois problemas. Para tanto, foram pesquisadas, inicialmente, características do livro didático brasileiro da Matemática do Ensino Médio (em conformidade com os Parâmetros Curriculares Nacionais brasileiros - PCN) e a forma de estruturação de conteúdos para o ensino de Matemática, as características de sistemas de computação algébrica (CAS) - visto que essas ferramentas manipulam com eficiência as Computações Numérica, Algébrica e Gráfica [Silveira 1998] e *sites* que tratam desse tópico da Matemática. Após esse estudo foram definidos os componentes considerados relevantes para a modelagem e criação de um protótipo do STI proposto, que é descrito a seguir.

2. Arquitetura do Assistente Inteligente Proposto

A arquitetura adotada é a proposta por [Viccari 1990] formada pelos componentes: Módulo do Conhecimento do Domínio, Módulo Tutorial ou Instrucional, Módulo de Controle, Modelo do Estudante e Interface com o usuário (aluno). A Figura 1 apresenta a arquitetura adotada, cujos elementos serão descritos a seguir.

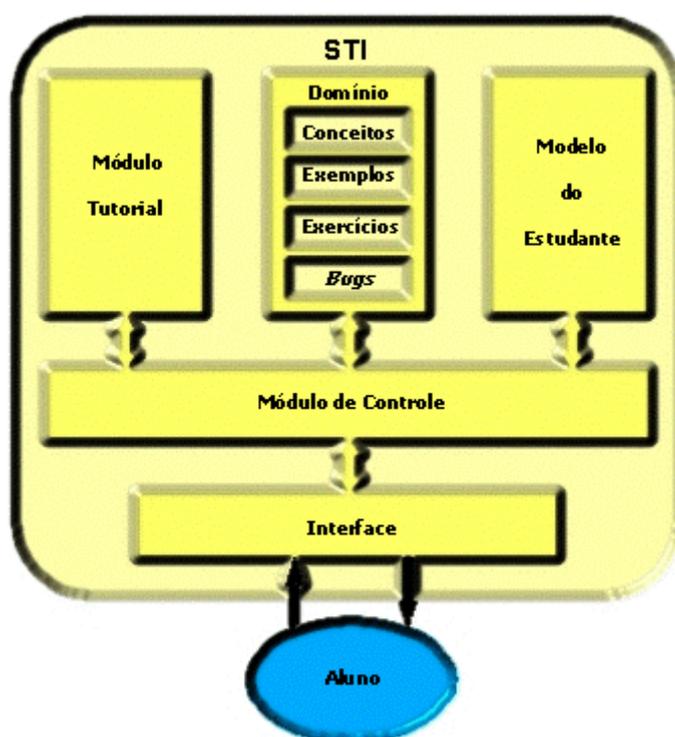


Figura 1: Arquitetura para o STI (assistente) proposto

2.1. Domínio do Ambiente Proposto

A base do conhecimento do domínio contém o material a ser ministrado pelo assistente e foi estruturada nas categorias: Conceitos, Exemplos, Exercícios e *Bugs*. A categoria *Conceitos* representa definições, demonstrações e princípios matemáticos - destacando que a conceituação é indispensável para o bom resultado das aplicações da teoria matemática [Lima 2001]; a categoria *Exemplos* contém o material ilustrativo que pode ser exibido através de texto, gráficos, animações, etc.; a categoria *Exercícios* está

dividida em duas partes: uma com exercícios relacionados à manipulação algébrica e a outra a exercícios de aplicação - visto que a maior deficiência do livro didático brasileiro do Ensino Médio, revelada pela análise dos mesmos, é a falta de exemplos e exercícios de aplicação, o que contraria os Parâmetros Curriculares Nacionais brasileiros (PCN); e, finalmente, a categoria *Bugs* contém o conhecimento acerca de alguns erros típicos cometidos pelos estudantes na teoria em estudo [Hasegawa e Nunes 1995].

O sistema funciona a partir da oferta de exercícios ao estudante. O aluno na busca da solução desses exercícios é levado à descoberta dos recursos disponíveis no sistema, bem como à busca dos conceitos matemáticos que envolvem essa solução. A relação entre as categorias que constituem o domínio do assistente e citadas anteriormente é ilustrada na Figura 2.

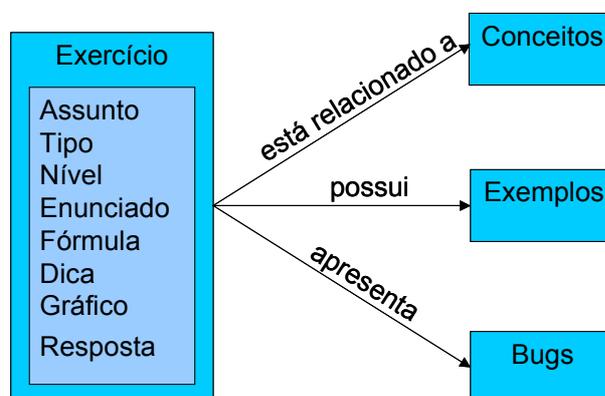


Figura 2: Relação entre os elementos constituintes do domínio do assistente.

O módulo do domínio é, geralmente, considerado o componente central de qualquer STI. Em essência, este modelo incorpora a maior parte da "inteligência" do sistema na forma do conhecimento necessário para solucionar problemas do domínio [Anderson 1988]. Desta forma, a identificação das categorias de conhecimento do domínio é de suma importância para sua modelagem computacional [Ladeira e Viccari 1996].

2.1.1. Categorias do Conhecimento Presentes no Assistente

No STI proposto estão presentes três categorias de conhecimento: a declarativa - que está representada pelos conceitos matemáticos estruturados, a procedural (do procedimento) - que representa o raciocínio necessário para realizar uma tarefa específica e a categoria heurística - que define o conjunto de operações executadas para resolver problemas. Devido à presença dessas categorias, foram utilizadas a Orientação a Objetos e a ferramenta JESS² para a implementação do domínio.

² A ferramenta JESS - *Java Expert System Shell* - pode ser obtida no site <http://herzberg.ca.sandia.gov/jess>, juntamente com seu manual e exemplos. Essa ferramenta foi desenvolvida totalmente em linguagem Java, a linguagem em que o protótipo do assistente proposto está sendo implementado.

2.1.2. Características do Domínio do Assistente Proposto

Um aspecto importante sobre o domínio do assistente proposto é a possibilidade da exploração gráfica das curvas que o constitui: a parábola, a hipérbole e a elipse - tal característica é um ponto que pode ser explorado com riqueza de recursos no ambiente computacional - através de construções gráficas e animações, o que é, ao mesmo tempo, um fator atraente ao aluno.

Uma outra característica importante é a possibilidade de exploração de exercícios de aplicação na própria Matemática e em outras disciplinas como a Física, a Química e a Biologia, pois empregos das Cônicas estão presentes no estudo da Função Quadrática, deslocamento de projéteis, refletores elípticos, parabólicos ou hiperbólicos, acústica física e biológica, expansão de gases, movimentos de corpos celestes, entre outros.

2.2. Módulo Tutorial

O Módulo Tutorial contém a forma de comportamento que o sistema vai utilizar para auxiliar o aluno na utilização do conhecimento. Este comportamento está intrinsecamente conectado ao paradigma educacional que suporta as idéias do projetista do sistema. A maneira de se comportar do STI pode ser mais ou menos diretiva dependendo dos objetivos educacionais do programa [Giraffa 1999].

Uma estratégia de ensino deve questionar, segundo Breuker (1988) *apud* [Schuck 2001]: i) Quando interromper? Que razões justificam interromper o curso de raciocínio ou aprendizagem do aluno ? ii) O que dizer? iii) Como dizer? (provavelmente a questão mais difícil).

No assistente proposto adotou-se um híbrido das propostas de [Heffernan 2001] e [Schuck 2001]: o primeiro usa essencialmente a estratégia do "diálogo socrático"; o segundo divide as estratégias de ensino quanto à sua atuação e período, tendo-se: a estratégia guia que possui atuação direta e atua ocasionalmente ou quando solicitada, a estratégia assistente que possui atuação semi-direta e atua ocasionalmente, e, finalmente, a estratégia facilitador que possui atuação indireta e atua após a solicitação do usuário.

O Módulo Tutorial implementado é formado por um conjunto de regras de produção, e, uma das vantagens da elaboração dessas regras é que um dos autores deste trabalho é, também, um especialista no domínio - o que permitiu uma maior facilidade na modelagem do ambiente como um todo.

2.3. Modelo do Estudante

O Modelo do Estudante objetiva personalizar o trabalho conforme as diferenças de cada usuário. Os tipos de modelo do aluno pretendem reproduzir o tipo de aluno que está interagindo com o sistema (ambiente) através da utilização de diversas técnicas de modelagem. Estas técnicas consideram desde modelos estereotipados simples até modelos sofisticados envolvendo estados mentais [Schuck 2001]. Giraffa (1999) afirma que os Sistemas Tutores Inteligentes podem ser divididos em *Tutores* e *Assistentes Inteligentes*, segundo a autora, os modelos de aluno (forte e fraco) determinam se o STI é um *Tutor* ou um *Assistente*. Esta autora ainda destaca que "*O que dispomos atualmente são de modelos muito mais empíricos do que realmente gostaríamos de*

utilizar." (Giraffa, 1999, p.35). Devido ao modelo de estudante simplificado adotado neste trabalho, assume-se que o STI proposto é um Assistente Inteligente

O assistente deve analisar as respostas e navegação do aluno com a finalidade de atualizar o modelo do estudante e escolher uma nova atividade, esta de mesmo nível ou de nível diferente (o que é função do desempenho do aluno, comparado ao padrão definido pelo especialista do domínio no tutor). Foi adotado um modelo de estudante simples - o de estereótipo - que é constituído por uma n-upla de pares ordenados do tipo (*atividade, valor do desempenho*). A escolha desse tipo de modelo de aluno foi feita por duas razões: a primeira deve-se ao fato da simplicidade de implementação e a segunda por existirem implementações que conseguiram resultados favoráveis utilizando um modelo de aluno desse tipo, por exemplo, [Schuck 2001] e seu assistente inteligente *Matfin*.

Para a determinação do desempenho do aluno foi definida, pelo autor deste trabalho, a função de duas variáveis $D=f(\alpha, \beta)$, com α, β inteiros maiores ou iguais a zero. Sendo α o somatório dos *bugs* cometidos pelo aluno e β o somatório das ajudas, dicas, exemplos, intervenções do assistente, etc.

A determinação do valor desempenho percentual D , tal que $0 < D \leq 100\%$ é calculada por

$$D = \frac{100}{1 + \frac{1}{10}(2\alpha + 3\beta)} (\%) \quad (1)$$

Assume-se na equação (1), definida pelo autor deste trabalho, que o custo de um *bug* é 2/3 de uma ajuda, dica ou pedido de um exemplo. O pressuposto do especialista do domínio - através de sua experiência profissional - é que o aluno está bem mais próximo da solução do problema no caso de um *bug* definido no módulo do domínio.

Para o sistema, o aluno só pode ser estereotipado como: iniciante, se D é maior ou igual a zero e menor que 33% (ou $2\alpha+3\beta \geq 20$); intermediário, se D é maior ou igual a 33% e menor que 67%; avançado, se D é maior ou igual a 67% e menor ou igual a 100%. Na verdade o aluno não é informado da sua nota ou desempenho. Esses três estereótipos servem como base para a escolha da próxima atividade do aluno (próximo exercício a ser apresentado) pelo sistema da seguinte maneira:

- Se o aluno é iniciante então o sistema apresenta um exercício no mesmo nível do exercício anterior;
- Se o aluno é intermediário então o sistema fornece a opção de além de um exercício do mesmo nível, optar por fazer um exercício de nível imediatamente mais complexo do que o exercício anterior;
- Se o aluno é avançado então o sistema apresenta um exercício de nível imediatamente mais complexo ao exercício anterior.

Convém lembrar que o modelo do estudante é dinâmico e durante uma sessão um aluno pode variar entre os três estereótipos, de maneira análoga às variações das complexidades dos exercícios propostos pelo assistente ao estudante.

A Figura 3 destaca as regiões dos três estereótipos de aluno no gráfico do desempenho D em função dos parâmetros α e β .

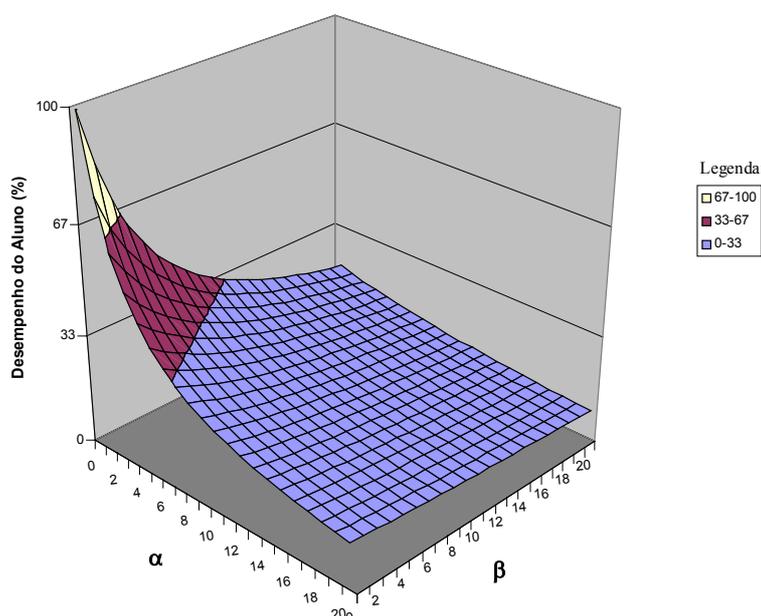


Figura 3: Regiões dos estereótipos de aluno em função do desempenho.

2.4. Módulo de Controle

O Módulo de Controle funciona como um articulador e coordenador dos demais módulos, com a finalidade de garantir um sincronismo adequado entre todos os elementos constituintes do STI durante a assistência ao estudante - tal sincronismo foi denominado por [Giraffa 1999] de "coreografia". Esse módulo é um elemento de suma importância na interação do sistema com o aluno através da interface. Seu ciclo de execução pode ser caracterizado, resumidamente, da seguinte maneira [Maltempi e Nunes 1994]:

- Selecionar uma estratégia de ensino no banco de estratégias;
- Selecionar o material instrucional da base de conhecimento do domínio, com base na estratégia de ensino;
- Apresentar o material para o aprendiz através da interface;
- Diagnosticar o comportamento do aluno e monitorar seu progresso, lendo, atualizando o modelo do estudante e reiniciando o ciclo, a partir das respostas do aluno.

2.5. Interface

A interface operará em estreita cooperação com os modelos do tutor e do aluno (o módulo de controle é o intermediário), suas decisões são de natureza distinta, requerendo um tipo diferente de conhecimento. Assim, é útil identificar a interface

como um componente distinto e de grande importância, pois para o usuário (aluno) o sistema resume-se a esse componente do mesmo.

Basicamente, a interface de um STI deve: evitar que o aluno se entedie, facilitar a troca do diálogo, possuir recursos compatíveis com os requeridos pelo domínio (por exemplo a construção de gráficos de cônicas) e possuir tempo de resposta aceitável.

A Figura 4 apresenta a interface do protótipo do assistente proposto. Na mesma podem ser destacados: o elemento de diálogo entre o aluno e o assistente, o elemento de exemplificação e o de dicas disponibilizadas pelo sistema, explora-se o recurso do hipertexto. Na Figura 5 podem ser destacadas duas janelas que representam importantes recursos de interação gráfica exigidos pelo domínio: a primeira permite a construção do gráfico cartesiano, a segunda permite a visualização das seções cônicas a partir de um cone interceptado por um plano. Para construção de tais gráficos há uma configuração dos componentes dessas janelas e indicação do tutor para os parâmetros a serem utilizados pelo aluno, dependendo da atividade em curso.

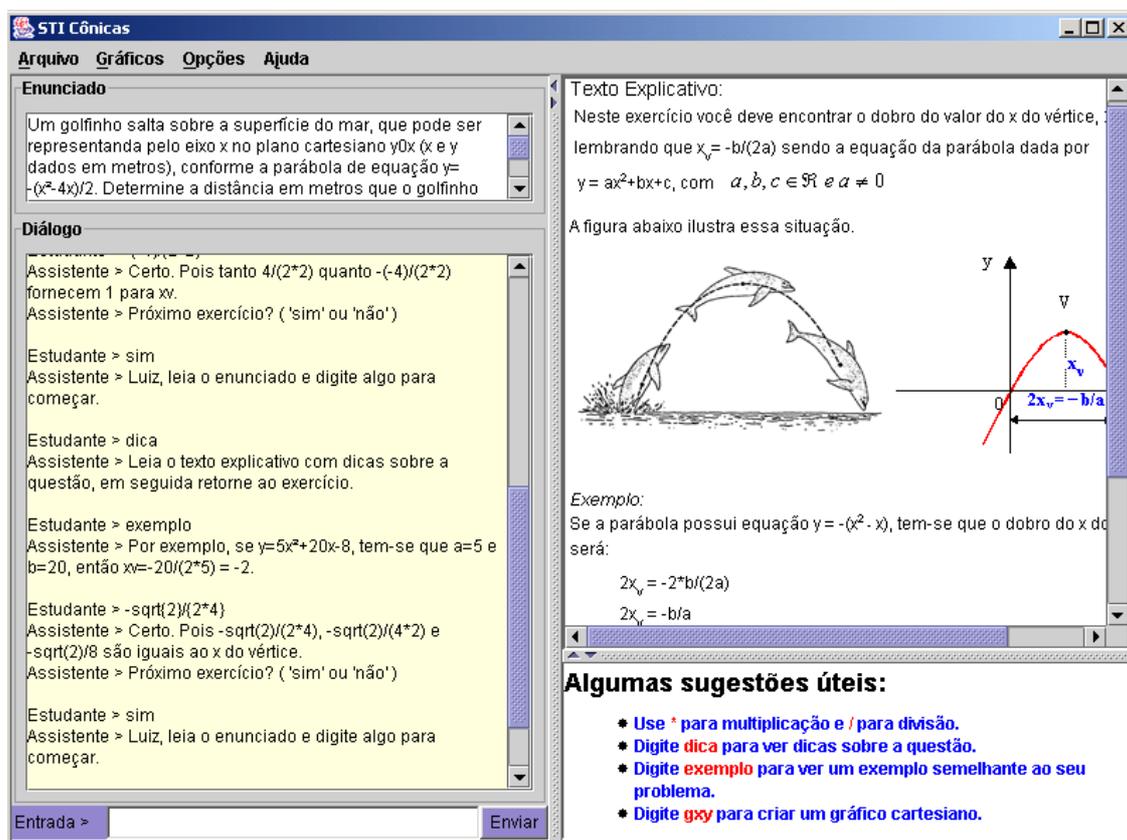


Figura 4: Interface do protótipo do STI proposto: podem ser destacados o elemento de diálogo entre o aluno e o assistente, o elemento de exemplificação e algumas sugestões disponibilizadas pelo assistente.

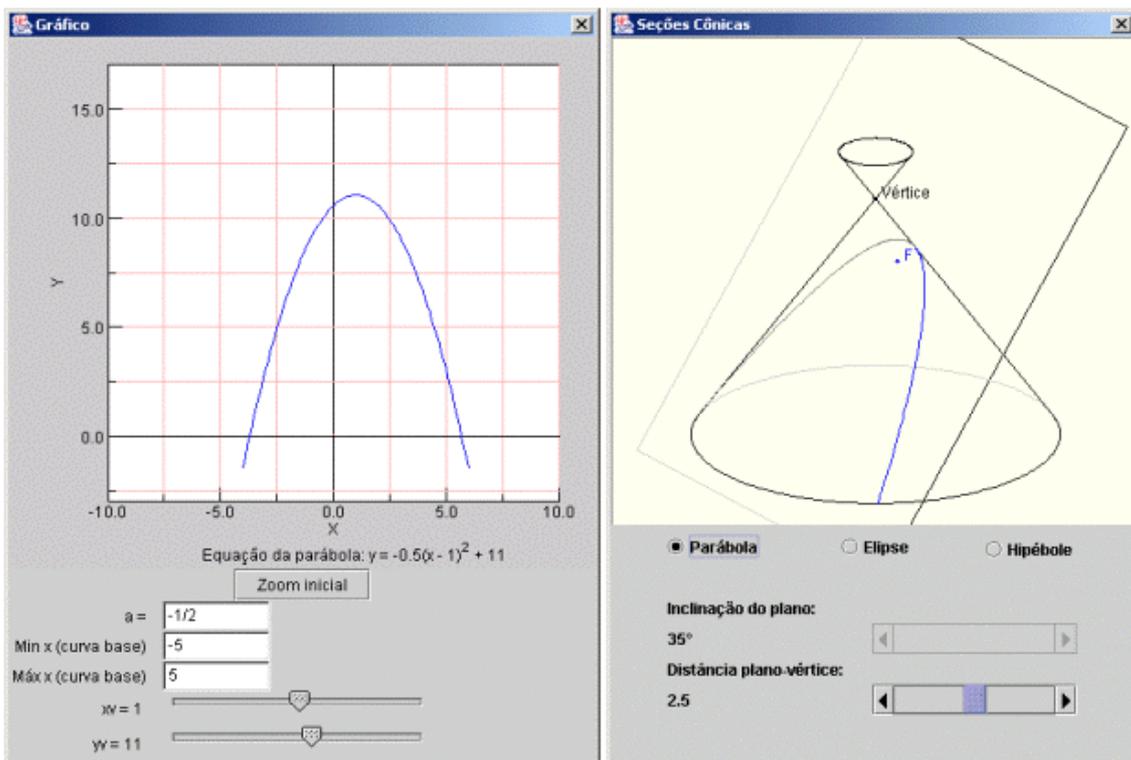


Figura 5: Janelas com recursos gráficos disponíveis ao aluno. Há uma configuração prévia dos componentes e indicação do tutor para os parâmetros a serem utilizados pelo aluno, em função da atividade em curso.

3. Considerações finais

O trabalho realizado reuniu conhecimentos na área de Inteligência Artificial e Educação Matemática com a finalidade de implementar um sistema computacional. A finalidade de tal sistema é que o mesmo sirva como assistente inteligente. O sistema visa auxiliar o trabalho docente de professores do Ensino Médio de Matemática, prestando-se como um assistente, quanto a um tópico da Geometria Analítica – as Seções Cônicas.

A pesquisa preliminar de livros didáticos brasileiros de Matemática para o Ensino Médio, das características de sistemas de computação algébrica (*CAS*) e dos *sites* sobre o domínio do STI proposto, além de orientar quando às dificuldades encontradas pelos professores de Matemática no exercício de sua prática docente quanto a esse domínio, permitiu também a definição das características necessárias do sistema, para posterior modelagem e a escolha das ferramentas de implementação.

Dentre as contribuições do sistema proposto a professores da área de Matemática do Ensino Médio podem ser destacadas duas: i) auxiliar o professor quanto aos pré-requisitos (que apresentam-se em grande número) desse tópico da Matemática, pois esse utiliza a Matemática Numérica, a Simbólica e a Gráfica; ii) auxiliar o professor quanto ao problema do número elevado de alunos por turma (até 60 alunos), através de uma individualização do ensino.

Na implementação do sistema optou-se pela linguagem *Java*, por ser uma solução não-proprietária e, também, por apresentar uma grande quantidade de códigos fonte livres em matemática (gráficos, manipulação algébrica, animações, etc.). A

ferramenta *JESS* facilitou a criação/ampliação do domínio e sua compatibilidade/desempenho com o ambiente *Java* verificou-se satisfatória diante dos objetivos definidos para o sistema proposto.

No atual estágio de desenvolvimento do protótipo foram implementados cada um dos módulos para a parábola, efetuando-se a comunicação entre todos os módulos tomando-se como base o módulo de controle. Para verificar-se o potencial pedagógico do assistente, nesse nível de implementação, realizou-se uma oficina da qual participaram onze professores de Matemática do Ensino Médio. Após análise do protótipo do assistente esses professores forma unânimes em afirmar que:

- A utilização do assistente é adequada às atividades que foram propostas;
- A utilização dos recursos gráficos (cartesiano, seções e construções geométricas) disponibilizados pelo assistente é adequada para esse tópico da Matemática e contribuiria para a melhoria de seu ensino;
- Os recursos de ajuda, exemplos, dicas, hipertexto e de "diálogo" disponibilizados pelo assistente são adequados e auxiliam o aluno durante o desenvolvimento das atividades propostas;
- A utilização do assistente auxiliaria na prática docente desse tópico da Matemática.

Relativamente à implementação do assistente, espera-se concluir em breve a elaboração dos conteúdos referentes à elipse e à hipérbole. Possivelmente ampliar-se-á o escopo do assistente para que o mesmo abranja a Geometria Analítica como um todo - o que inicialmente estava além da proposta inicial do trabalho e que foi uma indicação de professores que participaram da oficina. A esse respeito podem ser destacados os comentários sobre a contribuição do assistente proposto:

"...Certamente será muito útil como instrumento facilitador de aprendizagem."

"Oferecer um novo curso e disponibilizar, após o programa estar totalmente implementado."

Quanto às dificuldades encontradas referentes ao trabalho com a ferramenta *JESS* podem ser destacadas duas: a primeira refere-se a dificuldade de encontrar-se material sobre essa ferramenta no Brasil e no Exterior, principalmente quanto à área de Matemática; a segunda refere-se à dificuldade da comunicação entre todos os módulos tomando-se como base o módulo de controle – a qual pode ser considerada a maior dificuldade encontrada na implementação, inicialmente.

Referências

- Anderson, J. (1988) The Expert Module. *In: Polson, M., Richardson, J. (eds.) Foundations of Intelligent Tutoring Systems*, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, p. 21-51.
- Giraffa, L. M. M. (1999) *Uma Arquitetura de Tutor Utilizando Estados Mentais*. (Tese de Doutorado) - Porto Alegre, UFRGS.

-
- Hasegawa, R. e Nunes, M. (1995) TOOTEMA: Uma Ferramenta para a Construção de Sistemas Tutores Inteligentes em Matemática, *Anais do VI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*. Florianópolis.
- Heffernan, N. T. (2001) *Intelligent Tutoring Systems have Forgotten the Tutor: Adding a Cognitive Model of Human Tutors*. (Tese de Doutorado) - Pittsburgh, Carnegie Mellon University.
- Herzberg, C. *JESS, The Java Expert System Shell*. Disponível em <http://herzberg.ca.sandia.gov/jess>, acesso em 12 de dezembro de 2002.
- Ladeira, M., Viccari, R. M. (1996) Representação de Conhecimento Incerto, *XV Jornada de Atualização em Informática - XVI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação*, Recife, 56p.
- Lima, E. (1999) Conceituação, Manipulação e Aplicações - Os Três Componentes do Ensino da Matemática. *Revista do Professor de Matemática*, 41:1-6.
- Lima, E. (2001) *Exame de Textos - Análise de Livros de Matemática para o Ensino Médio*. Rio de Janeiro: IMPA/SBM, 467p.
- Maltempo, M.V., Nunes, M.G.V. (1994) INTEMA: An Explanation Generator for Intelligent Tutoring Systems. *Proceedings of XI International Symposium on Artificial Intelligence*. Fortaleza, p. 251-270.
- Ramos, E. (1996) Análise Ergonômica do Sistema HiperNet Buscando o Aprendizado da Cooperação e da Autonomia. (Tese de Doutorado) - Florianópolis, UFSC.
- Schuck, P. W. (2001) Um Assistente Inteligente para Suporte ao Ensino de Matemática Financeira. (Dissertação de Mestrado). Porto Alegre: PUCRS.
- Silveira, F. (1998) Utilização do Mathematica como Ferramenta de Apoio ao Ensino de Matemática. (Dissertação de Mestrado). Porto Alegre: UFRGS.
- Viccari, R. M. (1990) Um Tutor Inteligente para a Programação em Lógica -Idealização Projeto e Desenvolvimento. (Tese de Doutorado). Universidade de Coimbra.
- Viccari, R.M., Giraffa, L.M.M. (1996) *Sistemas Tutores Inteligentes: Abordagem Tradicional X Abordagem de Agentes*. XIII Simpósio Brasileiro de Inteligência Artificial, Curitiba.