

Experiência do GMC no desenvolvimento de software instrucional

Tiarajú Asmuz Diverio⁺

Instituto de Informática e CPGCC da UFRGS
diverio@inf.ufrgs.br

Beatriz Regina Tavares Franciosi⁺

Instituto de Informática da PUCRS e UFRGS
bea@inf.ufrgs.br

ABSTRACT

This paper presents a software development background owner to Computing Mathematics Group (GMC) at Instituto de Informática - UFRGS (Brazil) and its use on a software system design called LEPMAC. This system is an instructional software, which takes account teach and research experiences. The aim of this software is support the teach process in numerical analysis and related areas. In the same way, the software can be used to assist some research activities. First of all, is present the GMC's software development background following by a full LEPMAC description. Finally, some considerations about problems on the LEPMAC development and maintenance are done.

INTRODUÇÃO

Há algum tempo, por necessidade de pessoas que utilizam computações numéricas, começou a surgir *software* com o intuito básico de solucionar problemas envolvendo matemática numérica. A princípio foram desenvolvidos pequenos programas para solucionar problemas específicos. Com o passar do tempo, estes programas foram agrupados de acordo com áreas específicas, constituindo pacotes de *software*, cujo aperfeiçoamento gerou bibliotecas e sistemas de *software*.

O uso de bibliotecas, geralmente pressupõe que o usuário tenha um bom conhecimento do problema a resolver e de programação, a fim de que possa acessar e incluir a biblioteca numérica. Isto restringe bastante o número de usuários e remete ao desenvolvimento de *software* para processamento numérico que libere do conhecimento de linguagens de programação.

O desenvolvimento deste tipo de *software* é especialmente importante para disponibilizar ferramentas de apoio ao ensino de matemática computacional, onde a visualização do processamento numérico é fundamental para compreensão de conceitos.

O sistema LEPMAC (Laboratório de Ensino e Pesquisa em Matemática Aplicada e Computacional) é um *software* para processamento numérico, o qual disponibiliza uma interface amigável com o usuário e que implementa um conjunto básico de métodos aproximativos. Este

⁺ supported by CNPq

sistema também disponibiliza a visualização gráfica de funções, a fim de que o usuário possa verificar graficamente zeros polinomiais calculados numericamente.

A equipe responsável pelo desenvolvimento do projeto constituiu o Grupo de Pesquisa em Matemática da Computação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (GMC-UFRGS), vinculado ao Instituto de Informática e ao Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação.

O LEPMAC é um sistema instrucional constituído por um conjunto de rotinas implementadas modularmente. A interface usuário-sistema é orientada a cardápios do tipo *pull-down* os quais disponibilizam diferentes níveis de atividades.

O cardápio principal é constituído pela identificação das classes de métodos implementados, nas quais estão incluídos diversos métodos aproximativos. Como o sistema é de propósito educacional, incluiu-se métodos de excelente qualidade, sob o ponto de vista de eficiência e outros de qualidade questionável. O objetivo foi proporcionar situações de análise e de reflexão sobre o uso de métodos aproximativos, no que se refere a tempo de processamento, número de operações realizadas e exatidão de resultados fornecidos.

O software é auto-explicativo, através de telas que informam sobre o conteúdo (métodos implementados) e recomendação de uso de métodos numéricos.

A organização do sistema está baseada em módulos, os quais são independentes entre si e integrados por um gerenciador. O gerenciador é responsável pela interface usuário-sistema. Ele é composto por um conjunto de telas explicativas do uso do sistema; informativos do sistema (contendo: objetivos, filosofia e o endereço para contatos). Informações do conteúdos dos módulos podem ser obtidas via tela de ajuda existente no sistema.

A interface usuário-sistema dispõe de atributos como simplicidade, isomorfismo interno (uso de mesmo comando sempre que a ação é a mesma), isomorfismo externo (entre interfaces), formato estruturado de tela, uso de modelos conceituais familiares aos usuários, possibilidade de desfazer ações. Através do cardápio principal estão disponíveis os seguintes módulos:

- **POL** - O módulo de Equações Polinomiais possibilita a resolução de polinômios de grau n (onde n é menor ou igual a vinte). Nesse módulo estão implementados métodos de determinação e localização das raízes reais e complexas, bem como a possibilidade de visualização gráfica. Também é possível ativar técnicas para deflação de raízes de polinômios;
- **SIGMA** - O módulo possibilita análise de funções algébricas e transcendentess; pode-se traçar esboços gráficos de funções e suas derivadas, calcular os zeros de funções por diferentes métodos.
- **SSE** - O módulo de solução de Sistemas de Equações trata da solução de sistemas de equações lineares de variáveis reais e complexas. O pacote resolve sistemas de ordem n (onde n é menor ou igual a vinte), ou sistemas complexos de ordem $n/2$ (ou seja menor ou igual a dez).

Estão disponíveis as funções de cálculo de condicionamento, determinante e o cálculo da matriz inversa. Foram implementados métodos diretos, compactos e iterativos. Nesse módulo é possível efetuar refinamentos da solução.

- **SONDA** - O módulo trata de aproximações de funções por ajuste de mínimos quadrados e interpolação polinomial. Pode-se ter até n pontos de entrada para se aproximar a funções (para a versão atual, n é igual a vinte). Estes pontos podem ser plotados ou ajustados a funções do tipo: reta, parábola, exponencial e potência. Pode-se verificar o melhor ajuste pelo esboço gráfico ou pela soma dos mínimos quadrados; pode-se, ainda, dado um valor X , achar seu Y correspondente ou vice-versa. Quanto aos métodos de interpolação, estão disponíveis os métodos de Lagrange e Newton por diferenças divididas e finitas.
- **SPL** - O módulo trata do módulo de *Splines* cúbicos, pode ser utilizado para interpolar funções por *Splines*.
- **STAT** - Entre as funções que estão disponíveis no módulo Estatístico, destaca-se as da Estatística Descritiva como medidas de tendência central (média aritmética simples, mediana, quartis, moda, média geométrica e média harmônica), medidas de dispersão (amplitude total, variância absoluta, propriedades da variância e desvio-padrão), medidas relativas de variabilidade (variância relativa coeficiente da variação e variável padronizada). No que se refere à amostragem há geração de números aleatórios, estimadores (média, variância de estimadores para população finita ou infinita, erro-padrão do estimador, proporção, variância do estimador para populações finitas ou infinitas e erro-padrão), intervalos de confiança para proporção, testes de hipóteses estatísticas (sobre parâmetros de distribuições normais, para uma média ou comparação entre duas médias e teste para proporções).

O capítulo de integração numérica, devido a necessidade de se introduzir funções algébricas e transcendentais, ficou vinculada ao módulo SIGMA, que possui um interpretador de funções. Os métodos de integração disponíveis são método dos Trapézios, método de Simpson, de Romberg e o da quadratura gaussiana.

O sistema foi desenvolvido em turbo Pascal (versão 5.5), uma vez que ele dispõe de rotinas gráficas capaz de suportar os aspectos gráficos do sistema e da interface. Estão disponíveis três versões do sistema: uma para disco rígido; uma para dois *drives* e uma para rede local.

O LEPMAC dispõe de um conjunto de manuais e apostilas didáticas de apoio. Entre este material que compõe a documentação destaca-se a Cartela de Rápida Utilização do Sistema, Manual de Utilização, Caderno de Exercícios e as Apostilas didáticas para os módulos de Polinômios e Sistemas de Equações.

RELATO DA EXPERIÊNCIA DO GMC-UFRGS

A primeira experiência em software matemático na informática da UFRGS foi em 1981, em um projeto de documentação da biblioteca de rotinas matemáticas **NUMERALS** existente no computador central B6700 (Bourroughs). O **NUMERALS** é uma biblioteca de rotinas numéricas em Algol e Fortran para álgebra linear e solução de sistemas de equações lineares.

Em 1982 começou-se a desenvolver em Pascal um pacote de rotinas matemáticas para a resolução de equações não lineares e sistemas de equações lineares. O ambiente de desenvolvimento deste pacote foi um minicomputador LABO8037 (alemão - Nixdorf). O compilador Pascal utilizado foi produto de uma dissertação de mestrado de G. Medeiros, uma versão *standard* do Pascal bastante limitada em termos de recursos de entrada e saída de dados, pois só lia e imprimia caracteres. A idéia de interface era igual a cardápios de opções onde elas são acessadas por um número ou uma letra.

Em 1985, com a chegada dos microcomputadores de 8 *bits* e posteriormente, os de 16 *bits*, iniciou-se o desenvolvimento de estudos sobre software numérico instrucional e o desenvolvimento de um pacote instrucional em BASIC. Observa-se que nesta época o BASIC para PC era a única linguagem com recursos gráficos disponível no Brasil. O pacote foi denominado **SINAI-16** (Software Interativo Numérico Aplicativo e Instrucional em micros de 16 *bits*) e dispõe de rotinas numéricas para resolução de equações polinomiais, equações algébricas e transcendentais.

O **SINAI-16** tem um módulo gráfico para traçar esboços gráficos (e imprimi-los). Ele contém um estudo completo do capítulo de resolução de equações, incluindo localização de raízes, enumeração através da visualização gráfica e, em alguns casos, através de resultados obtidos, a determinação de valores iniciais para métodos iterativos; o cálculo de raízes pelos tradicionais e até a deflação de raízes pelo método de Briot-Ruffini e Horner. Maiores informações podem ser encontrados nos manuais ou nos artigos indicados na referência. A interface do **SINAI-16** é baseada em cardápios onde as ações são selecionadas por letras ou números. As mensagens explicativas são apresentadas apenas no início do software e não dispõe de sistema de ajuda. A consistência na ativação das funções é fraca, pois a cada tela a função de retorno é ativada por um número ou uma letra diferente. Existe consistência a erros da entrada de dados, pois uma vez digitada uma informação inválida o software alertava e solicitava que fosse re-introduzido o dado ou parâmetro.

Este software foi a primeira experiência efetiva de desenvolvimento de software instrucional do grupo GMC. O software foi utilizado no apoio ao ensino de disciplinas numéricas do terceiro grau, em cursos de matemática, engenharias e computação de diversas instituições de ensino superior. A partir dele iniciou-se várias outras experiências, inclusive um projeto de desenvolvimento de um software instrucional em computador de grande porte.

O **SISSEL** - *Software* Instrucional para Solução de Sistemas de Equações Lineares, foi outro pacote desenvolvido com a finalidade instrucional, o qual possibilita solução de sistemas de equações, tanto reais quanto complexas. Ele tem um módulo de leitura, verificação, e correção de

dados (coeficientes das matrizes); pode resolver o sistema por vários métodos, como por exemplo: Cramer, Eliminação de Gauss, Gauss-Jordan, por Métodos compactos ou iterativos. Ele permite a verificação da estabilidade do sistema através de uma pequena modificação nos valores do termo independente, e analisando a consequência no resultado ou pelo cálculo da medida de condicionamento do sistema. A interface é semelhante ao do SINAI-16, pois este *software* constitui uma evolução das idéias que nortearam os sistemas anteriores.

O SIAD - Software Interativo de Ajuste de Dados, foi desenvolvido em 1987, por um grupo de alunos de informática orientados pelo Grupo de Matemática da Computação. Abrange o capítulo de ajuste de dados, sendo incorporados métodos de ajuste a funções do tipo: reta, parábola, potência e exponencial. Ele tem um módulo gráfico que possibilita a plotagem dos pontos e da curva para se observar a qualidade do ajuste. É possível também sobrepor os diferentes ajustes, a fim de determinar o melhor ajuste (esta verificação pode ser feita pela soma dos quadrados dos resíduos que é fornecida pelo programa). Existe um módulo para cálculo de estimativas de valores e regressão linear.

O SIAD foi desenvolvido em Turbo Pascal versão 3.0. O conceito de interface já estava bem mais assimilado (pois as telas seguiam um *layout*), dispunha de um sistema de ajuda em diversos níveis contendo mensagens explicativas sobre os métodos. O projeto das mensagens do sistema teve como objetivo disponibilizar informações do manual de utilização na tela, em tempo de execução.

O projeto de interface usuário-sistema do SIAD utiliza o conhecimento adquirido, isto é, interface orientada a cardápios com escolha através de apontamento direto via teclas vetores e destaque da opção ativa em *video-reverso*. Utilizou-se ainda, o *beep* (recurso sonoro) para alertar informação inválida ou a espera de informação.

Em 1988, a experiência acumulada sobre desenvolvimento do *software* numérico já era bastante significativa e grande parte dos sistemas desenvolvidos pelo GMC-UFRGS foram cedidos a diversas universidades para apoiar o trabalho de atualização de professor e de praticas docentes.

Desta feita, a qualidade da interface usuário-sistema passou a ser uma necessidade, pois o bom uso dos sistemas dependeria da adequada compreensão de uso. O estudo tomou forma de investigação através da dissertação de mestrado, de D.L.Maçada ([MAÇ94]), cujo produto foi o desenvolvimento de um sistema para ensino de matemática que explora a linguagem visual de sistemas de computação. A idéia principal é liberar o usuário do aprendizado sobre a manipulação do sistema e priorizar aspectos relativos ao ensino-aprendizagem.

Nesse ambiente aprender a pensar é fato dominante deixando para um plano de menor importância a navegação no sistema. Desta forma, o sistema projetado libera ao máximo usuário do aprendizado de sua manipulação. A navegação é feita através de seleção em cardápios, pois estes constituem um excelente auxílio às nossas limitações de memória (lembrar é mais difícil do que reconhecer) e propiciam um menor número de erros de digitação. Os itens dos cardápios

utilizam a complementaridade da leitura da palavra e do desenho (*ícone*) e as ações que o sistema está apto a executar são especificamente gráficas.

O Pacote SIGMA é um exemplo onde os estudos sobre interface foram aplicados e com sucesso. Ele foi desenvolvido em Turbo Pascal (versão 4.0 no módulo gráfico), no ambiente de PC AT com vídeo colorido e co-processor aritmético. Ele abrange a parte da análise de funções matemáticas e cálculo de raízes de equações algébricas e transcendentais. O projeto de interface do SIGMA obedece, em linhas gerais as regras e convenções estipuladas para o sistema de software LEPMAC.

Teve-se a idéia de reunir em uma única ferramenta pacotes instrucionais que resolvem um amplo elenco de problemas numéricos. A filosofia de desenvolvimento foi a de projetar módulos instrucionais e reuni-los através de um módulo gerenciador em um único sistema. Cada módulo engloba um capítulo da matemática computacional. Este tipo de estrutura de sistema possibilita que se faça *upgrade* dos módulos individualmente, bem como a inserção de novos módulos.

Padronizações foram feitas no planejamento e desenvolvimento dos módulos, como por exemplo, o formato das telas, as mensagens de ajuda (*help*) e no modo de seleção de opção. Houve explícita preocupação com a ergonomia da interface usuário-sistema a qual é um misto de seleção em cardápio (para dados não numéricos) e entrada direta via digitação (para dados numéricos). A navegação no sistema é feita através de seleção em cardápios.

Finalmente em 1992, foi concluída a implementação do sistema LEPMAC. O sistema foi projetado para interagir com o usuário de uma forma amigável e instrucional; através de uma sobreposição de telas que contém as funções disponíveis a cada momento. A sobreposição das telas possibilitam um *overhead* do sistema. Neste sistema estão disponíveis rotinas para resolução de equações algébricas e transcendentais, sistemas de equações lineares, interpolações, ajustes de dados, integração numérica entre outros.

CONSIDERAÇÕES SOBRE USO DO LEPMAC

O sistema LEPMAC tem sido utilizado em diferentes instituições de ensino superior, a saber: Instituto de Informática da PUCRS, Laboratório de Informática da ULBRA, Institutos de Matemática e Informática da UFRGS. Também foram fornecidas versões do software para a UFSC (Florianópolis), UFC (Fortaleza), UEL (Londrina), UEM (Maringá) e PUCMG (Belo Horizonte).

Nestas instituições o sistema é utilizado como uma ferramenta de apoio para aulas práticas, onde os exercícios fornecidos devem ser resolvidos com o auxílio do sistema de software. Como o sistema possui a possibilidade de fornecer os principais valores parciais na resolução de problemas, os alunos inicialmente se utilizam desta opção, para uma melhor compreensão do problema e da sistemática de resolução e, depois, resolvem da forma mais eficiente.

Observou-se que, quando o sistema é utilizado, o rendimento dos alunos e o interesse pelos conteúdos abordados aumenta. Isto porque, o sistema homogeniza a ferramenta, o instrumento de resolução dos problemas em sala de aula, isto é, em sala de aula cada aluno tem sua calculadora com características específicas diferentes (científica, programável, com notação polonesa reversa, *pocket computers* com linguagem BASIC ou pseudo *Assembler*).

Através do sistema é possível explorar por exemplo, aspectos como instabilidade numérica. A questão da instabilidade em polinômios, pode ser ilustrada graficamente, através do gráfico do polinômio que está sendo analisado. Introduce-se a perturbação num dos coeficientes e, volta-se ao gráfico do polinômio perturbado, onde se observa a variação das raízes. Uma vez visualizado o problema, pode-se calcular pelos métodos numéricos disponíveis as raízes reais e complexas e, ainda, determinar o erro contido nas soluções.

De forma análoga, pode-se estudar a instabilidade numérica de sistemas de equações lineares com o auxílio do LEPMAC. O estudo pode abranger o conceito, ou a quantificação do problema, ou ainda, a constatação dos resultados. O conceito pode ser estudado ao variar-se os coeficientes da matriz A ou o vetor dos termos independentes. Então se calcula a variação produzida no resultado. Pode-se, com isso, comparar a taxa da perturbação introduzida e a taxa da variação produzida. Este é o princípio da análise sensitiva aplicada a sistemas de equações.

Uma das possibilidades de uso deste sistema instrucional está relatada a seguir. Como o LEPMAC calcula automaticamente a matriz inversa, determinante e os diferentes tipos de normas matriciais, pode-se verificar o condicionamento da matriz, seu relacionamento com o determinante e suas conseqüências práticas no número de algarismos significativos corretos do resultado.

Este sistema constitui uma importante ferramenta para o ensino, pois possibilita ao professor apoio na preparação de aulas, elaboração de exercícios e provas. Na verdade, o sistema de software dispõe de um Caderno de Exercícios abrangendo os diferentes módulos do sistema, onde o professor pode selecionar o exercício e verificar se sua solução satisfaz as exigências de complexidade de resolução, dificuldade e de tempo necessário para resolução.

A representação gráfica utilizada pelo sistema evita sobrecarregar o aluno com a exibição de grande volume de dados numéricos e enfatiza a visualização de dados através de gráficos.

Percebe-se que o uso de *software* instrucionais em sala de aula, como uma ferramenta para o ensino resulta na necessidade de reformulação do plano de ensino tradicional, na forma de avaliação dos alunos e na atualização de professores. Uma das maiores resistências ao uso de ferramentas computacionais, ou mesmo de computadores no ensino vem dos professores, que não se sentem preparados suficientemente.

Para a validação do sistema de *software*, utilizou-se um conjunto de exercícios abrangendo o conteúdo dos módulos, o qual gerou um dos materiais didático do LEPMAC, o Caderno de Exercício ([DIV90a]). Ele é composto por exercícios de fixação, exemplos protótipos já mencionados na literatura, exemplos de problemas de instabilidade numérica e, exercícios para comparação do desempenho dos métodos. Este caderno visa servir como uma outra ferramenta

auxiliar para o professor utilizar na preparação de tarefas a serem realizadas pelos alunos. Também foram desenvolvidos materiais didáticos de apoio, para os módulos, os quais serviram para validar o sistema ([DIV90b, DIV90c]).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentre as inúmeras dificuldades encontradas no desenvolvimento e manutenção do LEPMAC destacaram-se duas: desenvolvimento de manuais e manutenção do software. Isto pode ser atribuído ao fato da equipe de desenvolvimento não possuir dedicação exclusiva e à complexidade associada ao desenvolvimento de software numérico.

O maior legado deste trabalho foi produzir uma ferramenta para apoio ao ensino que privilegia a visualização dos erros de programas numéricos. Desta forma, pode-se introduzir estes conteúdos de uma forma rápida e eficiente. Os estudantes podem aprofundar e expandir seus conhecimentos de tópicos de análise numérica através do uso do LEPMAC.

Nas escolas destes novos tempos, o professor deve ser encarado como um guia que conduz através das trilhas do interesse de cada aluno. Ele deve ser o profissional capaz de promover uma mudança no estado de compreensão de conceitos. O LEPMAC propõe a aprendizagem através da auto-descoberta e, além disto, ele se adequa para auxiliar no treinamento, suporte e pesquisa na área de matemática numérica.

Pensar na educação como forma de transferência de conhecimento do professor para o aluno, já não é mais possível. Os alunos devem saber não apenas os conteúdos, mas também ter o domínio das próprias formas de aprender. A educação, vista sobre este enfoque, não é simplesmente a preparação para uma carreira; ela é um empreendimento para durar a vida inteira.

BIBLIOGRAFIA

- [CLA90] CLAUDIO,D.M; DIVERIO,T.A; FRANCIOSI,B.R.T. Software Instrucionais em matemática - experiência e evolução na Informática da UFRGS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 1, 15-22, nov. 1990. Rio de Janeiro, *anais*, Rio de Janeiro, RJ, nov.19-21, 1990. pp.124-136.
- [DIV86a] DIVERIO, T.A **Software Numérico aplicativo e instrucional** Porto Alegre: CPGCC da UFRGS, 1986. (dissertação de mestrado).
- [DIV86b] DIVERIO, T.A **SINAI-16 - Manual Instrucional do usuário e Manual de Manutenção do Programa**. Porto Alegre: CPGCC da UFRGS, 1986.
- [DIV87] DIVERIO,T.A. Resolução de equações - uma metodologia de estudo. In: Conferência Latinoamericana de Informática (CLEI PANEL/87), XIII, Bogota, nov.9-13, 1987.pp.190-203. (trabalho)
- [DUA87] DUARTE,R.F et al. **SIAD - Manual do usuário**. Porto Alegre: PUCRS, 1987.
- [DIV90a] DIVERIO,T.A. et al. **LEPMAC - Caderno de Exercícios do Sistema de Software do Laboratório**. Porto Alegre: UFRGS, 1990.
- [DIV90b] DIVERIO,T.A. **LEPMAC - Material Didático de Apoio - módulo de REATS**. Porto Alegre: UFRGS, 1990. 62p.

- [DIV90c] DIVERIO, T.A. LEPMAC - Material Didático de Apoio - módulo de SELAS. Porto Alegre: UFRGS, 1990. 61p.
- [FRA88] FRANCIOSI, B.R.T **Projeto de interfaces gráficos para o ensino de deficientes auditivos**. Porto Alegre: CPGCC UFRGS, 1988. (dissertação de mestrado)
- [FRA91] FRANCIOSI, B.R.T; DIVERIO, T.A.; CLAUDIO, D.M Oraculus system: an education program in interactive information retrieval system. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON TECHNOLOGY AND EDUCATION, 8, 1991, May 3-10, **Proceedings**. The harbour Castle Westin.
- [FRA92] FRANCIOSI, B.R.T; MAÇADA, D.L O ensino e o computador no ensino. In: CONGRESSO IBERO AMERICANO DE INFORMÁTICA EDUCATIVA, 1992, **anais**, Santo Domingo: 1992. p.44-53.
- [MAÇ94] MAÇADA, D.L. **Métodos Numéricos Computacionais**. Porto Alegre: CPGCC da UFRGS 1994. (dissertação de Mestrado)