



Instrumentação Tecnológica e Realimentação no Processo de Avaliação para o Ensino de Matemática na Universidade: um método baseado na Engenharia Didática

Technological Instrumentation and Feedback in the Assessment Process in University-level Mathematics Teaching: a method based on Didactics Engineering

Natália Maria Cordeiro Barroso¹

José Marques Soares²

João Cesar Moura Mota³

Hermínio Borges Neto⁴

Resumo

O uso de ferramentas automatizadas no processo de avaliação impõe mudanças de paradigmas que se devem aos mecanismos usados na elaboração de exercícios e análise de resultados. Propõe-se, neste trabalho, um método de realimentação para o processo de avaliação com o apoio de ferramentas computacionais. Apresenta-se uma aplicação deste método em sala de aula, na qual as atividades propostas aos alunos são fundamentadas em teorias da Didática da Matemática e são elaboradas em um programa de computador que faz o rastreamento das atividades dos estudantes. A partir da análise do comportamento do professor nesta experimentação, onde ficam expostas as suas

¹ Doutora pelo Depto de Engenharia de Teleinformática da Universidade Federal do Ceará (UFC). Endereço: Rua Princesa Isabel, 1618/104 – Centro, Fortaleza-CE, CEP 60.015-061. E-mail: natmbarroso@yahoo.com.br

² Professor Adjunto. Universidade Federal do Ceará (UFC), Depto. de Engenharia de Teleinformática. Endereço: Rua Princesa Isabel, 1618/104 – Centro, Fortaleza-CE, CEP 60.015-061. E-mail: marques@deti.ufc.br

³ Professor Titular. Universidade Federal do Ceará (UFC), Depto. de Engenharia de Teleinformática. Endereço: Av. Senador Virgílio Távora, 2400/901, Bloco B – Dionísio Torres, Fortaleza/CE, CEP 60.170-251. E-mail: mota@gtel.ufc.br

⁴ Professor Adjunto. Universidade Federal do Ceará (UFC), Faculdade de Educação. Endereço: Rua Leonardo Mota, 988/500 – Meireles, Fortaleza/CE, CEP 60.170-040. E-mail: herminio@ufc.br

dificuldades naturais em modificar os seus hábitos de ensino, destaca-se a necessidade de um trabalho de educação em conjunto, envolvendo também a participação de pesquisadores da área de Educação Matemática e de profissionais da área de Informática como suporte ao trabalho do professor.

Palavras-chave: Avaliação Automatizada. Avaliação Formativa. Engenharia Didática.

Abstract

With the use of automated tools, a change in paradigms in the student assessment process is necessary. This is due to the different mechanisms used to elaborate assessments and to analyze their results. An assessment method with continuous feedback is proposed. An application of this method is presented in which the activities proposed to the students in the classroom are based on Mathematical Didactic theories. To elaborate and apply this assessment, software was used that tracks the students' activities. Based on analysis of the teacher's behavior during the experiment, which showed his natural difficulty in modifying his teaching habits, it is emphasized that this type of educational work needs to involve the participation of professionals from the fields of mathematical education and technology to help improve the teacher's work.

Key-words: Automated Evaluation. Formative Evaluation. Didactic Engineering.

Introdução

Diversos programas, como o Mathematica (*Wolfram Research, Inc.*) e o MatLab (*The MathWorks, Inc.*), podem dar suporte ao ensino e ao aprendizado de matemática, podendo interferir nos hábitos de alunos e professores. Entretanto, tais ferramentas não são ainda utilizadas com frequência no ensino básico de matemática e cálculo para alunos dos primeiros anos universitários, fato que pode ser justificado pela ausência da informática na formação dos professores e pela dificuldade de manuseio desses aplicativos.

Face às inevitáveis pressões do desenvolvimento tecnológico, alguns novos paradigmas se impõem aos professores, não só no que diz respeito à metodologia de ensino, mas também relativamente a mecanismos de avaliação.

Este trabalho registra uma experiência iniciada em um projeto de pós-graduação (BARROSO, 2005) envolvendo o uso de um programa de computador para a elaboração de atividades de matemática de forma avaliativa. A motivação principal do projeto é encontrar explicações para o grande número

de reprovações de alunos de primeiro ano universitário em disciplinas de matemática, bem como pistas necessárias à elaboração de soluções didáticas para lidar com tal problema, o que sugere uma abordagem da avaliação sob sua função como diagnóstico. Para isso, foi elaborada uma lista de exercícios com o auxílio de uma ferramenta que permite registrar traços das atividades realizadas pelos alunos durante a sua resolução. O conteúdo dos exercícios envolve o conceito de função real, noção sobre a qual se apóia toda a matemática do primeiro ano universitário.

A experiência envolve uma professora com 15 anos de prática no ensino tradicional de disciplinas de matemática de primeiro ano universitário, sem nenhum conhecimento prévio de informática. Foram encontrados pontos relevantes ao longo do trabalho, ora restritivos, ora apresentando elementos inovadores. Esses elementos despertaram um crescente envolvimento dos pesquisadores implicados no projeto, a partir da manipulação de um conjunto de subsídios oferecidos pelos registros eletrônicos de atividades. Como sugere Demo (2000), o professor deve ter autocrítica e saber inovar e, pensando dessa maneira, sugere-se, neste trabalho, um método de realimentação para o processo de avaliação. As etapas desse método se baseiam na metodologia de pesquisa denominada Engenharia Didática, proposta por M. Artigue (1989), que tem por suporte a aplicação de seqüências de ensino em salas de aula de matemática. Iniciando-se com um teste diagnóstico dos conhecimentos dos alunos sobre um tema particular, propõe-se um método que permite ainda inferir sobre o grau de apreensão do assunto, em uma perspectiva somativa, mas que pretende, preferencialmente, atuar como coadjuvante no processo de aprendizado, segundo uma abordagem formativa.

Concentram-se, nas seções que se seguem: a motivação original desta pesquisa, a fim de contextualizar o presente trabalho; um relato da primeira experimentação realizada em sala de aula, desde sua concepção até a sua aplicação; uma apresentação do programa computacional WIMS no qual são elaboradas as avaliações; uma discussão sobre a análise da experimentação e algumas conclusões parciais; o método proposto, com um detalhamento de suas fases; e, para encerrar, as conclusões e perspectivas.

O problema da aprendizagem da matemática no primeiro ano universitário

De um modo geral, tem sido percebido um grande número de reprovações de alunos nas disciplinas de matemática do primeiro ano das universidades brasileiras, como constatado através de pesquisas como Barbosa (1994) e Cury (2004). O baixo desempenho não é restrito àqueles que têm um histórico escolar considerado “ruim”, mas atinge também aqueles que antes de ingressar na universidade eram considerados bons alunos. Diversos são os fatores apontados como causas para essa difícil transição ensino médio/ensino superior: fatores econômicos, psicológicos, cognitivos, pedagógicos, didáticos, conceitos mal formados, etc. Esse problema não é exclusivo do Brasil. Registros indicam problemas semelhantes na passagem do ensino médio para o superior pelos estudantes da França, como apresentado por Praslon (2000). Baixo desempenho, perda de motivação, alto índice de reprovação e de abandono nas disciplinas de matemática do primeiro ano são considerados como conseqüências do desnível liceu/universidade ao qual é submetido o estudante francês.

Diante dessa realidade, um estudo se impõe a fim de estabelecerem-se parâmetros de ajuste à transição secundário/superior, visando um melhor desempenho nos resultados dos alunos no início da universidade.

Avaliação do conceito de função real com o auxílio de um programa de computador

Visando a análise do problema apresentado na seção anterior, foi elaborada uma avaliação-diagnóstico sobre a noção de função real, levando-se em consideração critérios de classificação estudados em Didática da Matemática, cujos fundamentos podem ser vistos em Brousseau (1986). A fundamentação teórica, a especificação da problemática e da metodologia empregada e a maneira como um programa de computador auxiliou o desenvolvimento dessa experiência são apresentadas em seguida.

Fundamentação teórica

Os exercícios integrantes da avaliação foram organizados e classificados por nível de dificuldade, segundo um critério proposto por Aline Robert (1998).

De acordo com Robert, os conhecimentos empregados na resolução de um exercício podem ser divididos em três níveis: nível **simples/isolado**, em que um exercício é considerado simples se os conhecimentos a serem utilizados são bem familiares ao aluno e é dito isolado se um só conhecimento antigo está envolvido em sua resolução; nível **mobilizável**, no qual os conhecimentos empregados na resolução de um exercício podem ser identificados em seu enunciado e são suficientes para resolvê-lo, mesmo que algumas adaptações ao contexto particular do enunciado sejam necessárias; e nível **disponível**, em que o aluno deve procurar sozinho em seus conhecimentos o que é pertinente para a resolução do exercício.

Com o objetivo de formular questões que envolvem conhecimentos de função real que correspondem a cada um dos três níveis acima citados, recorreu-se à teoria da dialética Ferramenta/Objeto e Jogo de Quadros da autoria de Régine Douady (1986). Segundo Douady, durante o seu processo de formação, um conceito matemático pode assumir dois status: o de *ferramenta*, quando está sendo usado como um instrumento para a resolução de um problema, ou o de *objeto*, quando questões teóricas a ele relacionadas são tratadas, tais como sua definição, suas propriedades, teoremas que o envolvem, entre outros aspectos que o particularizam.

Nessa teoria, um **quadro** é constituído pelos objetos de um ramo da matemática, como, por exemplo, o quadro geométrico, o algébrico ou o numérico, dentre outros, e um **jogo de quadros** se constitui em um meio de obterem-se formulações diferentes de um mesmo problema, remetendo a novas interpretações do problema inicial em diversos quadros.

Com o suporte da teoria da dialética ferramenta/objeto e jogo de quadros, de Douady, e pautando-se nos critérios de classificação de um exercício, propostos por Robert, os exercícios da avaliação foram organizados em ordem progressiva de dificuldade e os seus enunciados foram formulados em quadros variados, nos quais o conceito de função real ora assume o status

de ferramenta, ora o de objeto. A Figura 1 mostra as possibilidades de enquadramento de um exercício sob a perspectiva dos critérios utilizados.

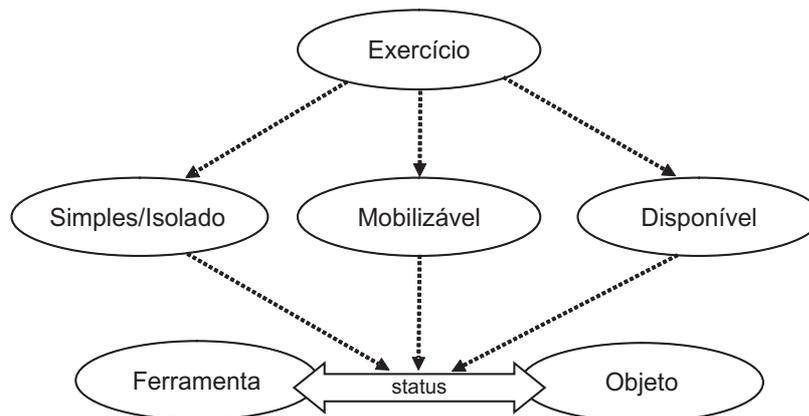


Figura 1. Classificações e contextualizações possíveis para um exercício

Problemática e metodologia

O objetivo da avaliação é saber até que nível o estudante é capaz de adaptar seus conhecimentos antigos combinados a seus conhecimentos novos para resolver os problemas propostos. Os estudantes conseguem resolver apenas exercícios de resolução imediata do nível simples/isolado ou eles são capazes de adaptar seus conhecimentos para encontrar soluções de problemas que se encontram no nível mobilizável ou no nível disponível?

O conteúdo dos exercícios envolve conhecimentos adquiridos no Ensino Médio, considerados conhecimentos antigos para esses alunos, mesclados a conhecimentos adquiridos recentemente na universidade, considerados conhecimentos novos. A ordenação dos exercícios sugere um aumento no nível de dificuldade ao passar de um exercício a outro, dificuldade definida pela experiência empírica e pela metodologia descrita na seção anterior.

Na pesquisa, verifica-se até que nível os alunos do primeiro ano são capazes de adaptar seus conhecimentos na resolução desses exercícios sobre a noção de função real. Inicialmente, duas experimentações foram realizadas no ano de 2004: a primeira com uma classe de estudantes de primeiro ano da

Université d'Evry, na França, e a segunda no Brasil, com uma classe de estudantes do primeiro ano do curso de graduação em Engenharia de Teleinformática (CGETI) da Universidade Federal do Ceará (UFC). Nos anos seguintes, 2005, 2006 e 2008, após análises e modificações, mais três experimentações foram feitas com alunos do primeiro ano do CGETI/UFC.

Embora não fizesse parte dos objetivos originais do trabalho, foram verificadas contribuições e limitações advindas da utilização de um programa de computador no estudo dos traços das atividades dos alunos. O interesse principal recai, particularmente, nas informações extraídas dos registros armazenados pelo programa. Tais registros não seriam facilmente observáveis a partir de avaliações escritas tradicionais.

Através da instrumentação computacional, além da possibilidade de análise de dados e verificação de estatísticas, apresenta-se como um elemento de substancial valor, para um professor acostumado a práticas convencionais, a facilidade de elaboração, modificação e execução de novas avaliações. Esta facilidade, aliada à velocidade para realizar adaptações e re-aplicar avaliações, torna-se um elemento motivador para que o professor experimente novas abordagens e ensaios. Note que as próprias avaliações, em forma de listas de exercícios interativas, podem ser gravadas e re-utilizadas a qualquer momento por qualquer professor, o que potencializa a relação inter-classes e, por que não dizer, interdisciplinar entre docentes.

Esse contexto, inicialmente secundário no trabalho original, constitui um elemento de base para o método de realimentação no processo de avaliação apoiado por ferramentas computacionais proposto neste artigo. Embora diversos instrumentos computacionais possam ser utilizados para esse propósito, as experiências realizadas se apoiaram no uso da ferramenta WIMS, apresentada na próxima seção.

Programa Computacional de Apoio: WIMS

Para estudar o desempenho dos alunos, utilizou-se um programa interativo que oferece um banco de questões bem como recursos para a criação de novos exercícios: o WIMS - *WWW Interactive Multipurpose Server*⁵,

um programa livre que pode ser acessado através de qualquer navegador web na internet. O WIMS permite o emprego de questões bastante diversificadas cujos enunciados não são comumente explorados em salas de aulas tradicionais. Além disso, os dados do enunciado de um mesmo exercício são modificados a cada interação, dificultando ao aluno copiar o resultado obtido pelo colega ao lado ou descobrir por tentativa e erro a resposta correta.

As avaliações no WIMS são organizadas em *folhas de trabalho* contendo um conjunto de exercícios. Essas folhas de trabalho são disponibilizadas ao aluno a partir de classes publicadas em um servidor Web. Para acessá-la, os alunos devem ser previamente cadastrados e receber uma senha de acesso.

The image shows a web interface for configuring a worksheet. At the top, there is a form with the following fields:

- Titre:** Révisions sur les fonctions
- Description:** CETTE FEUILLE FAIT PARTIE DU PROGRAMME DE REVISION SAUF LES EXERCICES 14, 15 ET 16 (qui ne compteront pas non plus dans) [with up/down arrows]
- Page de présentation:** aide
- Date d'expiration:** 15 aout 2004

To the right of the description field is a button labeled "Modifier".

Below the form, there is a section titled "Contenu de la feuille : [Version imprimable]" containing a list of 16 exercises:

1. Collection d'intervalles, 10 points de poids 1.
2. Valeur d'une fonction I, 10 points de poids 1.
3. OEF affine, 10 points de poids 1.
4. Coincidence Libre I, 10 points de poids 1.
5. Coincidence Libre II, 10 points de poids 1.
6. Joint niveau II, 10 points de poids 1.
7. Fonctions graphiques, 10 points de poids 1.
8. Dérivée graphique niveau II, 10 points de poids 1.
9. Continuité et suites III, 10 points de poids 1.
10. Continuité et suites IX, 10 points de poids 1.
11. Cercle, 10 points de poids 1.
12. Tour, 10 points de poids 1.
13. Triangle droit, 10 points de poids 1.
14. Min-Max, 10 points de poids 1.
15. Dérivées limitées I, 10 points de poids 1.
16. Dérivées limitées II, 10 points de poids 1.

Figura 2. Folha de exercício criada para a avaliação de função real

Para a primeira experimentação, foi criada uma única folha de trabalho contendo dezesseis exercícios, sendo quatorze escolhidos entre os disponíveis no banco de questões da plataforma e dois elaborados utilizando os recursos de edição do programa. Os exercícios foram organizados de maneira a seguir uma ordem crescente de nível de dificuldade, do mais simples ao que necessita de um maior número de adaptações para ser resolvido, critério estabelecido de acordo com a fundamentação teórica apresentada anteriormente e pela

experiência da equipe de pesquisadores. Na Figura 2, mostra-se a folha de exercícios criada, tal como ela foi apresentada no WIMS aos alunos da França. Para facilitar a sua utilização pelos alunos do Brasil, ela foi traduzida para o inglês, por se tratar de um idioma melhor dominado por eles do que o idioma francês e, também, pelo fato de muitos dos exercícios utilizados possuírem versão registrada em inglês no WIMS. Ressalta-se que, antes de cada nova experimentação, as atividades realizadas pelos alunos na experimentação anterior eram analisadas, provocando, naturalmente, alterações na folha de exercícios. Para as aplicações que se seguiram, exercícios intermediários foram acrescentados e a ordem de alguns exercícios foi alterada, já baseada na experimentação anterior.

No ambiente WIMS, para resolver um exercício da folha de trabalho, o aluno deve clicar sobre o *hyperlink* com o nome da questão. Seu enunciado e os campos necessários a sua resolução são apresentados no navegador Web, permitindo a sua resolução de maneira interativa e apresentando o resultado após a submissão da resposta, o que permite ao aluno um *feedback* instantâneo. Um exemplo é apresentado na Figura 3. É importante destacar que o programa permite o uso de gráficos animados e que tal recurso possibilita a elaboração de enunciados que seriam de difícil implementação em avaliações tradicionais.

O WIMS oferece diversas modalidades de interação para que o aluno responda um exercício, podendo ser uma resposta de múltipla escolha, o preenchimento de uma expressão algébrica ou de um valor numérico, sendo ainda possível elaborar exercícios mais complexos, contendo um encadeamento em várias etapas até a conclusão da questão.

A primeira das avaliações, cuja folha de exercícios é apresentada na Figura 2, foi então aplicada a duas classes de primeiro ano: uma do DEUG (*Diplôme d'Études Universitaires Générales*, correspondente à estrutura de ensino universitário francês em seus dois primeiros anos, vigente até 2004) *Scientifique* da *Université d'Évry*, França, e a outra do primeiro ano do curso de graduação em Engenharia de Teleinformática da Universidade Federal do Ceará - UFC. Os traços das atividades individuais dos estudantes foram registrados pelo programa e utilizados na realização da análise dos resultados

da experimentação. A maneira como esses registros são efetuados é apresentada em seguida.

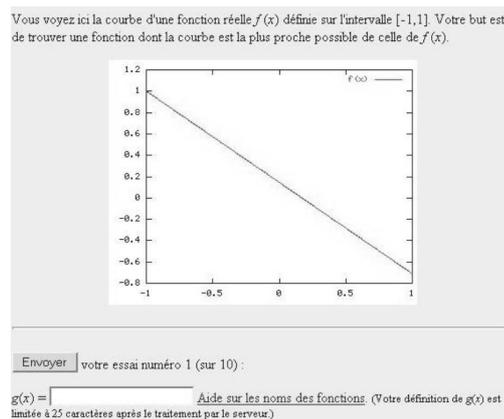


Figura 3. Exemplo de exercício apresentado pelo WIMS

Statistiques d'activité

Feuille 1. Révisions sur les fonctions (Durée théorique 74 min.)

Exercice	points requis	Totaux			moyen/score		
		new	score	points	durée	points	durée
1. Collection d'intervalles	10	333	306	2840	62	9.3	0.2
2. Valeur d'une fonction I	10	277	249	2200	46	8.8	0.2
3. OEF affine	10	511	494	4010	102	8.1	0.2
4. Coïncidence Libre I	10	326	97	592	453	6.1	4.7
5. Coïncidence Libre II	10	70	12	41	94	3.4	7.8
6. Joint niveau II	10	233	136	800	271	5.9	2
7. Fonctions graphiques	10	179	119	815	183	6.9	1.5
8. Dérivée graphique niveau II	10	136	72	354	176	4.9	2.5
9. Continuité et suites III	10	323	267	1681	283	6.3	1.1
10. Continuité et suites IX	10	173	136	580	94	4.3	0.7
11. Cercle	10	218	150	854	282	5.7	1.9
12. Tour	10	145	91	459	204	5	2.2
13. Triangle droit	10	89	59	350	132	5.9	2.2
14. Min-Max	10	45	13	0	45	0	3.5
15. Dérivées limitées I	10	72	34	30	52	0.9	1.5
16. Dérivées limitées II	10	30	21	0	12	0	0.6
Somme	160	3160	2256	15606	2491	-	-

Figura 4. Estatísticas globais.

Registro de atividades

Ao término de um exercício, o WIMS atribui uma nota que varia entre 0 e 10, segundo o grau de sucesso do aluno na resolução da questão. É ainda possível efetuar diversas tentativas de resolução de um exercício sem que as notas obtidas sejam consideradas na média final, permitindo ao aluno refletir sobre a solução antes da execução de maneira definitiva. A nota final atribuída pelo WIMS a um exercício é parametrizada pelo professor no momento da preparação da folha. Pode ser estabelecido um tipo de dificuldade percentual caso o aluno refaça uma questão após um erro. Contudo, isso permite a eventual recuperação de notas baixas, no caso de o aluno descobrir ou se lembrar de como resolver corretamente uma questão após um fracasso.

Outros dados quantitativos são também registrados pelo programa como o número de tentativas, as notas parciais obtidas (além da média final) e o tempo gasto pelo aluno para resolver uma questão.

Os dados para a análise das atividades dos estudantes podem ser

apresentados de maneira global, como mostra a Figura 4, ou individual, como mostra a Figura 5. Nessa última, os dados correspondem a uma parte do registro de atividades de um aluno no dia 10/02/2008 de 15:20:07 às 15:23:29 sobre o exercício 2 da folha de trabalho.

Na coluna “*Etat*”, as menções “*new*” e “*renew*” significam a execução (ou re-execução) de uma questão. A menção “*score*” significa que uma resposta foi submetida ao WIMS, apresentando a sua nota. A menção “*noscore*” indica que a nota obtida não foi contabilizada para a média final, isto é, a atividade do aluno sobre o exercício foi considerada como um treinamento.

Date	Heure	feuille	exercice	Etat	Score	Etat d'enregistrement
20080210	15:20:07	1	2	new		noscore
20080210	15:20:12	1	2	score	10	noscore
20080210	15:21:14	1	2	renew		noscore
20080210	15:21:18	1	2	score	10	noscore
20080210	15:22:20	1	2	renew		noscore
20080210	15:23:25	1	2	new		
20080210	15:23:29	1	2	score	10	

Figura 5. Um trecho dos traços de atividades realizadas por um aluno

Análise da experimentação e algumas conclusões

Antes da avaliação com os alunos, uma análise *a priori* foi efetuada para identificar os possíveis conhecimentos e procedimentos que os alunos poderiam empregar na resolução dos problemas. Com base nessa análise, os exercícios foram classificados quanto ao nível de dificuldade. Essa análise preliminar permitiu justificar ou compreender melhor o desempenho e os procedimentos realizados pelos alunos bem como seus conhecimentos. Entretanto, a ausência de registros escritos do desenvolvimento constitui uma limitação para a execução da análise *a posteriori*. Apesar da previsão dos prováveis caminhos que poderiam ser seguidos pelo aluno à procura de uma solução, não se pode saber exatamente quais procedimentos foram escolhidos para a resolução de um problema. Por outro lado, essa dificuldade pode ser ao menos parcialmente contornada utilizando as estatísticas e os registros de atividades gravadas pelo programa de computador. Embora uma avaliação de um pequeno grupo de questões em duas classes de alunos pareça uma experiência bastante simples, o volume de dados registrados pelo programa

de computador pode ser extremamente grande (no caso da primeira experimentação, chegou a aproximadamente 9000 linhas). Esses recursos não seriam viáveis ou, no mínimo, dificilmente obtidos a partir de avaliações escritas.

Para se realizar a análise, os exercícios foram agrupados em função do tipo de entrada requerida para as respostas no programa WIMS. Entre outros dados importantes, foram utilizados, por exemplo, o tempo empregado na resolução de um exercício e o número de tentativas. A análise desses dados conduziu a reflexões inicialmente inesperadas, que não seriam possíveis a partir de uma prova convencional. Por exemplo:

- O tempo empregado pelo aluno no desenvolvimento de um exercício e o número de tentativas para resolvê-lo são fortes indicativos do grau de dificuldade encontrado na busca de uma solução;
- Em um exercício de resolução imediata, a alternância entre erros e acertos pode indicar que o aluno não sabe realmente resolvê-lo;
- A progressão das notas obtidas por um aluno na resolução de um exercício é um indicativo de que ele conseguiu, após várias tentativas, adaptar seus conhecimentos na resolução do exercício.

Face aos novos elementos de reflexão oriundos dessas avaliações,

- Em geral, para um professor de matemática habituado aos métodos tradicionais de ensino, ao introduzir em suas práticas o uso de recursos tecnológicos, é de extrema importância, não só o apoio, mas a participação efetiva de profissionais de Tecnologia de Informação (TI), haja visto ser grande o número de conhecimentos adicionais necessários à elaboração, à disponibilidade e à manipulação de informações eletronicamente registradas. Na ausência desses, a resistência e a falta de inclusão digital do professor podem ser impeditivas para a realização de tal intento, como lembra Rocha (2008). Ao longo deste trabalho de pesquisa, essa necessidade manifestou-se diversas vezes, desde a compreensão e operação da ferramenta até a edição e cadastramento de questões indisponíveis na base de dados;
- Existe uma forte tendência do professor em considerar que as modificações ou as adaptações sobre os materiais avaliados são de

- difícil implementação, mesmo quando não é realmente o caso. Isso o leva a tentar fazer tais adaptações externamente ao programa, ou mesmo a renunciar a determinadas partes da avaliação, retornando aos poucos à prática tradicional. Por isso, as avaliações devem ser concebidas desde o início com características dinâmicas, permitindo uma contínua realimentação do processo e sua constante atualização;
- Nas avaliações realizadas, deparou-se freqüentemente com a falta de um histórico do registro escrito do raciocínio do aluno, não podendo determinar-se qual dentre os caminhos supostos na análise *a priori* foi trilhado para resolver uma questão, ou se ainda o aluno optou por uma solução não documentada. A inexistência do desenvolvimento escrito das atividades dos alunos implica na necessidade de maior segmentação das questões propostas, de maneira a permitir uma melhor identificação dos pontos de facilidade ou dificuldade dos alunos. Nesse caso, vê-se que o esforço necessário à elaboração passa a ser maior enquanto que a atividade de correção passa a ser fácil, já que é realizada, pelo menos na sua maior parte, por uma ferramenta automatizada;
 - Mesmo após uma cuidadosa elaboração, pode haver necessidade de interações adaptativas durante a avaliação. As avaliações, em especial as de caráter formativo, devem estar abertas às interações professor-aluno e aluno-aluno, e tais ocorrências devem ser registradas a fim de auxiliar no processo de análise e realimentação do processo avaliativo;
 - Se a avaliação tem um caráter diagnóstico, objetivando compreender um fenômeno ou fato recorrente, é necessário que ela se reproduza o maior número de vezes possível, cobrindo uma grande quantidade de pessoas, para que as conclusões sejam consistentes. Cada avaliação pode e deve contribuir com o aprimoramento da avaliação subsequente.

Esses pontos levaram a uma reflexão sobre a necessidade de uma metodologia que possa ser empregada na elaboração/execução de avaliações que valorizem aspectos diagnósticos, formativos e, eventualmente, somativos. Essa metodologia é apresentada na próxima seção.

Proposição de um método de avaliação continuamente realimentado

Se, de um lado, esta pesquisa não permitiu avaliar plenamente e identificar de maneira definitiva os problemas do aprendizado de matemática no primeiro ano universitário, por outro lado, conduziu a uma intensa reflexão sobre a prática avaliativa. Essas reflexões guiam presentemente a continuidade deste trabalho, adaptando, em especial, algumas fases da Engenharia Didática (ED) ao contexto da avaliação.

A ED é uma metodologia de pesquisa da Didática da Matemática que se caracteriza, principalmente, por ter um esquema experimental baseado em “realizações didáticas” em sala de aula, quer dizer, baseado sobre a concepção, a realização, a observação e a análise de seqüências de ensino de matemática (ARTIGUE, 1989). Essa metodologia divide-se em quatro fases: a Fase 1, das análises preliminares; a Fase 2, da concepção e da análise *a priori* das situações didáticas; a Fase 3, da experimentação; e, por último, a Fase 4, da análise *a posteriori* e da validação.

Compartilhando da opinião de Douady (1987), segundo a qual a ED se constitui em um instrumento privilegiado para se considerar a complexidade da sala de aula, propõe-se neste trabalho uma adaptação desta metodologia ao contexto da avaliação, explorando, em especial, suas funções diagnóstica e formativa, apoiando-se no uso de instrumentação tecnológica. Ressalta-se, porém, que não é feita uma correspondência isomórfica entre as fases da ED e as do método aqui proposto que concerne, exclusivamente, a situações de avaliação.

As fases do método de avaliação continuamente realimentado (ACR)

A Figura 6 apresenta de maneira esquemática a estrutura geral do método ora proposto, cujas etapas são apresentadas em seguida.

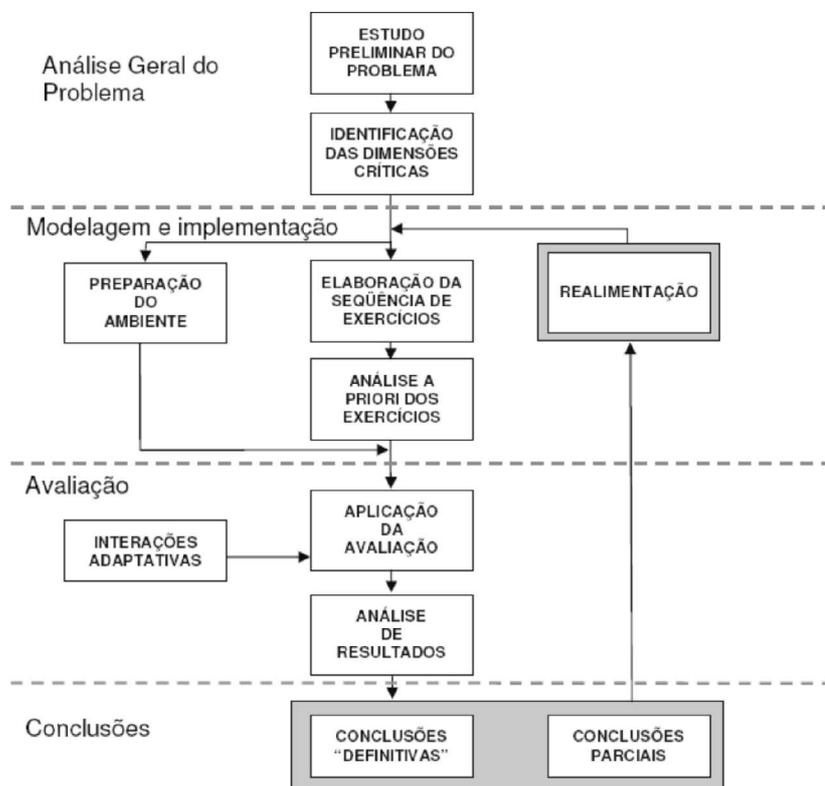


Figura 6: Fases e atividades constituintes do processo de avaliação

Fase de Análise Geral do Problema

Nessa fase, são realizados o estudo preliminar do problema e a identificação das dimensões críticas que definem o conjunto de hipóteses sobre as dificuldades relacionadas ao assunto tratado. Entende-se por dimensões críticas as dificuldades registradas pelos alunos e as hipóteses sobre os motivos que originam tais dificuldades no contexto do processo ensino-aprendizagem. Podem ser consideradas dimensões críticas, por exemplo, o não cumprimento, no ano anterior, do programa considerado como pré-requisito para o conteúdo que se pretende trabalhar, ou a falta de maturidade ou de assimilação prévia de conceitos indispensáveis. Tais dimensões não podem ser simplesmente negligenciadas pelo professor. Nesta pesquisa, em especial, foram analisados os programas de ensino médio e de primeiro ano universitário no que concerne

o conceito de função real e determinados os pontos de reconhecida dificuldade, com base na experiência dos professores envolvidos, que devem ser considerados na avaliação.

Fase de Modelagem e Implementação

Essa fase envolve inicialmente a elaboração da seqüência de questões, normalmente, organizada em ordem crescente de nível de dificuldade.

É nesse momento que a fundamentação teórica utilizada nesse trabalho é valorizada, quando, na escolha dos exercícios, consideram-se enunciados que conduzem à solução de problemas nos quais a noção visada assume o status de ferramenta ou de objeto; ao mesmo tempo em que, a partir dessas escolhas, abrangem-se os níveis de dificuldade simples/isolado, mobilizável e disponível. Trabalha-se igualmente a contextualização, aplicando-se o jogo de quadros com o objetivo de elaborar enunciados que não sejam familiares aos alunos participantes da avaliação, o que os força a adaptar ao novo contexto seus conhecimentos relativos à noção visada.

Outra importante ação dessa fase é a preparação do ambiente de execução da avaliação, que envolve a escolha das ferramentas de trabalho, a definição eventual das pessoas envolvidas entre técnicos, avaliadores e avaliados, o local da avaliação, o tipo de máquina e material utilizado, entre outros elementos complementares. Além das atividades iniciais, outra atividade, posterior à conclusão de avaliações anteriores, pode intervir nessa etapa, motivando uma realimentação capaz de modificar, enriquecer ou mesmo corrigir eventuais problemas detectados. Finalmente, uma análise *a priori* deve ser efetuada a fim de identificar os possíveis conhecimentos e procedimentos que os alunos poderão empregar na resolução dos problemas.

Fase de Avaliação

Na fase de avaliação são feitos a aplicação da avaliação e o registro de atividades, com eventuais interações adaptativas, onde são realizadas ações que venham a complementar ou auxiliar a avaliação em pontos não previstos. Tais interações devem ser registradas de alguma maneira. A análise de resultados é então realizada a partir dos dados registrados pela aplicação da avaliação e eventualmente das interações adaptativas.

Fase de Conclusões

Finalmente, após a apresentação dos resultados e das análises, são registradas as conclusões, podendo ser consideradas “definitivas”⁶, quando o volume de informações se revelar suficiente quantitativa e qualitativamente, ou parciais, quando forem obtidas através de informações incompletas ou verificadas através de tendências, necessitando obrigatoriamente de reavaliações.

As conclusões realimentam o processo, podendo-se retrabalhar a reclassificação dos níveis dos exercícios e o jogo de quadros. Em uma próxima aplicação, podem ser eliminadas ou inseridas novas questões ou, ainda, proceder-se à fragmentação de exercícios visando à identificação mais precisa do tipo de dificuldade ou limitação encontrada pelo aluno. Note-se que a instrumentação computacional aqui é de grande ajuda, pois, além de fornecer registros históricos para análise, facilita o reaproveitamento de todas as estruturas de avaliações anteriores, permitindo correções e adaptações apenas onde necessárias. Assim, as conclusões geram elementos de entrada para a fase de modelagem e implementação.

No método aqui proposto, a realimentação atribui uma característica cíclica ao processo, onde a avaliação anterior, na perspectiva de Luckesi (1998), subsidia decisões a respeito da aprendizagem dos educandos e funciona como elemento regulador da próxima avaliação. Aliando-se aos princípios de Hoffinman (1998), defende-se ainda a realização e retomada de atividades de avaliação freqüentes e sucessivas, pois a ação avaliativa, enquanto mediação, não se caracteriza como um momento do processo educativo, mas é integrante e implícita a todo processo. Pretende-se, dessa maneira, garantir a qualidade na construção do conhecimento.

Discussões sobre a Validação na ED e no método ACR

Na ED, a fase de validação se caracteriza por ser um processo realizado por meio da confrontação entre as fases de análise *a priori* e de

⁶ Colocou-se aqui a palavra entre aspas para indicar uma menor rigidez em seu significado, visto que uma conclusão pode muitas vezes ser repensada e modificada.

análise *a posteriori*. Observe-se que a validação, com os mesmos propósitos da ED, está inserida na Fase de Conclusão do método ACR. Entretanto, as conclusões do método proposto são enriquecidas com outros elementos históricos de confrontação, como avaliações realizadas em outras ocasiões com o mesmo grupo ou mesmo com grupos diferentes.

É importante mencionar que, na ED, Artigue (1989) destaca que o professor está pouco presente na análise *a priori* e que esse afastamento possui razões históricas relativas ao desenvolvimento da pesquisa didática, influenciada pelas teorias construtivistas do conhecimento. Artigue afirma ainda que, na teoria didática, o professor ocupa sempre uma posição marginal e que, como ele não é convenientemente considerado, os fenômenos didáticos nos quais ele está implicado tendem a ser percebidos como ruídos. No método ACR, o professor é envolvido desde a concepção da experimentação e pode inferir sobre o aproveitamento e aprendizado do aluno a partir da análise do seu comportamento de maneira não necessariamente dependente da análise *a priori*. Em outras palavras, as conclusões não são exclusivamente obtidas pela confrontação das análises *a priori* e *a posteriori*. Assim, as hipóteses podem ser validadas ou não de diversas maneiras: pela inspeção de avaliações, pela manifestação espontânea dos alunos, através de indagações explícitas do professor, entre outras possibilidades. Além disso, considerando a transversalidade de alguns conteúdos matemáticos, pode-se apreciar o desenvolvimento do aluno em outras disciplinas do mesmo curso que utilizem determinados conteúdos matemáticos. Nesse último caso, é obrigatória a implicação de professores de diferentes disciplinas, o que não é trivial.

Conclusões e perspectivas

Neste trabalho, observou-se de que maneira a inserção de recursos tecnológicos para interação e registro de atividades pode apresentar benefícios e limitações, trazendo pistas de ações que podem ser generalizadas para outros domínios. Alguns pontos são aqui destacados:

- O envolvimento do profissional de tecnologia da informação para dar suporte à elaboração de avaliações manifesta-se não só como

forma de dar sustentação à transição de metodologias de ensino tradicionais, mas como uma necessidade real, considerando a interdisciplinaridade cada vez mais presente nas práticas modernas de ensino e aprendizagem. O ensino e a avaliação presencial podem, dessa maneira, adquirir características de trabalho cooperativo, em contraposição a sua característica habitualmente individual;

- A realimentação na prática da avaliação deve ser considerada desde o momento de sua concepção, não só com a perspectiva de contínua reciclagem, mas também facilitando correções e adaptações em um ambiente inerentemente dinâmico envolvendo alunos, professores e domínio de estudo. Dessa maneira, pode-se tratar o processo de avaliação com propósitos formativos, permitindo orientar o trabalho do professor na identificação das deficiências de conhecimento do aluno com o objetivo de perseguir um melhor aprendizado;
- O tradicional tempo necessário para a correção de um volumoso número de provas, temido por qualquer professor, pode ser diminuído com o auxílio de programas automatizados. Por outro lado, para uma avaliação eficaz, o tempo de elaboração de avaliações deve ser significativamente aumentado, exigindo possivelmente a colaboração de outros profissionais;
- A elaboração de provas que envolvem um alto nível de interatividade com o aluno permite que as avaliações contribuam de maneira efetiva para o raciocínio e o conseqüente aprendizado do aluno, em contraste com o tradicional objetivo classificatório das avaliações. Nessa perspectiva, o número de avaliações pode e deve ser aumentado, visto que elas passam a ser elementos ativos do processo de aprendizagem. Ainda nesse contexto, a postura frequentemente passiva dos professores no momento das avaliações pode ser reconsiderada, sendo possivelmente necessárias interações adaptativas no decorrer de avaliações, o que permite corrigir eventuais equívocos ou erros de projeto, ou ainda contribuir positivamente para o desenrolar das avaliações;
- Os registros de avaliações armazenados, incluindo os de turmas

anteriores ou concomitantes, podem fornecer importantes subsídios para re-dimensionar o processo de ensino e aprendizagem, auxiliando na compreensão do comportamento do estudante e na construção de novas estratégias. Outra questão importante é o favorecimento da colaboração entre docentes, devido à possibilidade de disponibilizar e compartilhar exercícios e avaliações através de ferramentas como o WIMS.

- Fazem-se necessárias discussões e reflexões sobre a postura do professor ao intermediar sessões de avaliações para os seus alunos. Por essa razão, nas atividades futuras, introduzir-se-á uma ação de mediação pedagógica para o desempenho das atividades, minorando algumas dificuldades que surgem e que são relatadas neste artigo. Para isso, pretende-se adaptar às sessões de avaliação, o modelo de mediação proposto na Seqüência Fedathi (BORGES; SANTANA, 2001) que é indicado para a abordagem de um problema de matemática em sala de aula;

O método aqui proposto, simples em sua essência, não pretende esgotar o assunto, mas organizar o início de um conjunto de novas experimentações que valorizem as avaliações apoiadas em ferramentas computacionais como parte integrante do processo de aquisição de conhecimentos.

Referências

ARTIGUE, M. Ingénierie Didactique. **Recherches em Didactique des Mathématiques**, Paris, v. 9 n. 3. p. 281-308, 1989.

BARBOSA, G. **Raciocínio Lógico Formal e Aprendizagem em Cálculo Diferencial e Integral**: o caso da Universidade Federal do Ceará. 1994. 109 f. Dissertação (Mestrado em Educação Matemática) - Universidade Federal do Ceará, Faculdade de Educação – FACED, Fortaleza, 1994.

BARROSO, N. M. C. **Le concept de fonction chez les élèves de première année**. Diplôme d'Études Avancées (DEA), Université Paris VI, 2005.

BORGES, H., SANTANA, R. Fundamentos Epistemológicos da Teoria de Fedathi no Ensino de Matemática. In: ENCONTRO DE PESQUISA EDUCACIONAL DO

NORDESTE: Educação, Desenvolvimento Humano e Cidadania, n. 15, 2001, São Luis. **Anais...** São Luís, 2001. p. 594- 607.

BROUSSEAU, G. Fondements et Méthodes de la Didactique des Mathématiques. **Recherches en Didactique des Mathématiques**, v. 7. n. 2, p.33-116, 1986.

CURY, H. **Disciplinas Matemáticas em Cursos Superiores**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2004.

DEMO, P. **Ironias da Educação**: mudanças e contos sobre mudança. Rio de Janeiro: DP&A, 2000.

DOUADY, R. L'ingénierie didactique un instrument privilégié pour une prise en compte de la complexité de la classe. In: PME, n. 11, 1987, Montréal. **Actes...** Montréal, 1987. p. 222-228.

DOUADY, R. Jeux de cadres et didactique outil-objet. **Recherches en Didactique des Mathématiques**, v. 7, n. 2, p.5-31, 1986.

HOFFMANN, J. **Pontos e Contrapontos**: do pensar ao agir em avaliação. Porto Alegre: Mediação, 1998.

LUCKESI, C. C. Verificação ou avaliação: o que pratica a escola? **Publicação**: Série Idéias, São Paulo: FDE, n. 8, p.71-80, 1998.

PRASLON, F. **Continuités et ruptures dans la transition terminale S/DEUG Sciences en analyse**: le cas de la notion de dérivée et son environnement. 2000. 542 f. Tese (Doutorado em Didactique des Mathématiques) - Université de Paris 7 – Denis Diderot, Paris, 2000.

ROBERT, A. Outils d'analyse des contenus mathématiques à enseigner au Lycée et à l'Université. **Recherches en Didactique des Mathématiques**, v. 18, n. 2, p.139-190, 1998.

ROCHA, E. M. **Tecnologias Digitais e Ensino de Matemática**: compreender para realizar. 2008. 200 f. Tese (Doutorado em Educação) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 2008.

Aprovado em janeiro de 2009
Submetido em agosto de 2008