

Avaliação formativa em um curso introdutório de Mecânica clássica: um estudo de caso

Henrique Cesar Estevan Ballesteros e Sergio de Mello Arruda

Departamento de Física, Universidade Estadual de Londrina, Brasil. Emails: hcestevas@hotmail.com; sergioarruda@sercomtel.com.br.

Resumo: Esse trabalho apresenta os resultados da utilização da avaliação formativa em um curso introdutório de Mecânica clássica. Trata-se de um estudo de caso, no qual analisamos a evolução da aprendizagem de um estudante. Os dados incluem entrevistas e resoluções de uma das questões da primeira prova. A análise nos mostrou que a utilização desse tipo de avaliação foi positiva para a aprendizagem do aluno.

Palavras-chave: aprendizado em física, Mecânica clássica, avaliação formativa.

Title: Formative evaluation in an introductory classical mechanics course: a case study.

Abstract: This work presents the results of the use of the formative evaluation in an introductory course of classical mechanics. This is a case study, which analyzed the learning evolution of a student. The data include interviews and resolutions of one of the question of the first assessment. The analysis showed us that the use of such evaluation was positive for the learning of the student.

Keywords: learning physics, classical mechanics, formative evaluation.

Introdução

A avaliação é, sem dúvida, uma parte importante do processo educacional. Entretanto, ainda hoje, depois de inúmeros trabalhos publicados sobre essa temática, podemos observar que em diversas instituições de ensino no Brasil imperam processos de avaliação concebidos unicamente como instrumentos que apenas são utilizados para indicar o quanto o estudante (supostamente) aprendeu sobre determinado conteúdo. Sem desprezar esse tipo de utilização da avaliação, é evidente que essa é uma simplificação do processo avaliativo, já que ele pode proporcionar reflexões ao educador, tanto sobre sua prática, quanto sobre os erros e deficiências, bem como, sobre os êxitos apresentados por seus alunos durante o processo de aprendizagem.

De fato, na literatura podemos encontrar diversos autores que defendem outros usos para a avaliação, em particular: Bloom *et al.*, 1971; Rotger, 1990; Hoffmann, 1998; Perrenoud, 1999; Ruiz, 2000; Hadji, 2001; Santos, 2002; Carvalho *et al.*, 2005 e Fernandes, 2006. De maneira geral, os trabalhos

consultados trazem à tona, entre outros aspectos, problemas existentes em se avaliar o aprendizado dos alunos simplesmente pela dimensão quantitativa, ou seja, somente pela nota atribuída a eles ao final de um certo período. Grande parte dos problemas existentes nessa conduta avaliativa encontra-se na dissociação entre o processo instrucional e a avaliação em si. Conforme escreve Ruiz:

[...] a instrução é vista como um processo de informação-formação e a avaliação como uma comprovação da aquisição por parte dos estudantes. É certo que o propósito da avaliação não é comprovar, e sim, melhorar, o que lhe confere um caráter mediador (não finalista), portanto exerce uma função que se insere e forma parte fundamental do programa instrucional (Ruiz, 2000).

Bloom já escrevia, em 1971, que “a avaliação é um método de coleta de dados e de processamento dos dados necessários à melhoria da aprendizagem e do ensino” (Bloom *et al.*, 1971, p.8).

A chamada avaliação formativa se encaixa dentro das perspectivas defendidas pelos autores citados. Nesse trabalho relatamos uma experiência de utilização desse tipo de avaliação no ensino e aprendizado de Física. A pergunta que orientou a pesquisa pode ser assim formulada: pode a avaliação formativa contribuir para o aprendizado do aluno em um curso de Mecânica Clássica? Relatamos aqui o estudo de um caso em que a resposta para essa pergunta foi claramente positiva.

A avaliação formativa

Bloom e colaboradores (Bloom *et al.*, 1971, p.271), consideram três tipos de avaliação: diagnóstica, formativa e somativa ou classificatória. O tipo diagnóstico de avaliação consiste na sondagem, projeção e retrospectiva das situações dos desenvolvimentos do aluno, permitindo constatar as causas de repetidas dificuldades de aprendizagem. Quando os objetivos não são atingidos, é necessário retomar o processo e elaborar novas estratégias para que se efetue a construção do conhecimento. Já a modalidade formativa, informa ao professor e ao aluno sobre os resultados da aprendizagem no desenvolvimento das atividades escolares, determinando o quanto o aluno domina do que foi ensinado. E, por fim, a somativa, que tem como função classificar os educandos ao final da unidade, segundo níveis de aproveitamento apresentados, não apenas com os objetivos individuais, mas também pelo grupo como um todo (Bloom *et al.*, 1971, p. 67). Vale destacar que, como os autores indicam, nada impede que o professor extraia uma avaliação somativa de uma formativa, ou seja, o docente pode atribuir notas, classificando seus alunos ao final de uma etapa do curso, utilizando, para isso, as avaliações formativas que serviram de base para a condução da aprendizagem de seus educandos ao longo do tempo.

Tomando por base as ideias defendidas por Ruiz (2000), observamos que a avaliação possui, como característica primordial, o aperfeiçoamento do processo educacional. Nesse sentido, um tipo de avaliação que pode auxiliar o

professor no decorrer de sua prática docente, e o aluno, em seu processo de aprendizagem, é a formativa. Como cita Rotger (1990, apud Ruiz, 2000), “a avaliação formativa tem um caráter iminentemente processual e é orientadora”, o que faz dela uma “modalidade dinâmica” já que “marcha paralelamente com os objetivos e propósitos que pautam a instrução”. Complementando as ideias de Rotger, destacamos os posicionamentos de Perrenoud (1999) e Hadji (2001). O primeiro destaca que avaliação formativa é

[...] toda avaliação que ajuda o aluno a aprender e a se desenvolver, que participa da regulação das aprendizagens e do desenvolvimento no sentido de um projeto educativo. (Perrenoud, 1999, p.78)

O termo regulação aparece com frequência na literatura francesa. Perrenoud define regulação dos processos de aprendizagem, em um sentido amplo como o “conjunto das operações metacognitivas do sujeito e suas interações com o meio que modificam seus processos de aprendizagem no sentido de um objetivo definido de domínio”. Numa variante mais simples seria a manutenção de um estado estável. Para esse autor falar de regulação no processo de aprendizagem guarda um sentido metafórico (Perrenoud, 1999, p. 90).

Já Hadji, supõe que a avaliação formativa:

[...] não é um modelo científico, nem um modelo de ação diretamente operatório. Não é mais do que uma utopia promissora, capaz de orientar o trabalho dos professores no sentido de uma prática avaliativa colocada, tanto quanto possível, a serviço das aprendizagens (Hadji, 2001, p.25).

Bloom e colaboradores (1971, p.19-60), destacam que a avaliação formativa, desde que utilizada adequadamente pode servir como referência para decisões de procedimentos a serem tomados pelo professor durante o processo de instrução, pois se trata de uma “avaliação que ocorre durante a formação de aprendizagem”. Outro ponto destacado pelo autor é que esse tipo de avaliação “regula a aprendizagem dos alunos”, motivando-os a empregar o esforço necessário no momento adequado. A esse ponto, destacamos o respaldo encontrado às ideias apregoadas por Bloom e colaboradores em Perrenoud (1999). O autor destaca que “nenhuma intervenção externa age se não for percebida, interpretada e assimilada pelo sujeito”. Nesse sentido, a “ação educativa” poderia estimular o que ele chama de “autorregulação”, fato que, segundo Perrenoud (1999, p.96), reforçaria as capacidades do sujeito de gerir, ele próprio, seus projetos, seus progressos, suas estratégias, diante das tarefas e obstáculos”. Em Santos (2002, p.1) podemos encontrar uma complementação da ideia de autorregulação preconizada por Perrenoud. A autora destaca que esse processo é um “ato intencional que, agindo sobre os mecanismos de aprendizagem, contribua diretamente para a progressão e/ou redirecionamento dessa aprendizagem”.

Segundo Ruiz (2000), esse tipo de avaliação pode ser aplicada em qualquer momento da aula, mediante diferentes estratégias tais como: “provas de rendimento, dinâmicas de grupos, debates, fóruns, jogos, simulações e resoluções de situações-problema, etc.” Todavia, Ruiz destaca ainda que a

"avaliação formativa requer um fluxo contínuo de informação em relação a cada aluno", dessa maneira, "é possível ter consciência sobre as falhas do processo de ensino-aprendizagem", que porventura venham a acontecer.

Se o objetivo principal é diagnosticar e orientar o processo de aprendizagem, é necessário que o professor organize o curso a ser trabalhado em "unidades de aprendizagem" (Bloom *et al.*, 1971, p.19 -130). Essas unidades abrangem a aprendizagem durante um período de tempo relativamente curto, entretanto, isso pode se dar de maneira arbitrária. O ideal é que essas unidades sejam estabelecidas "pelos cortes naturais da matéria ou pelo conteúdo que compoem um todo significativo". A ideia fundamental do estabelecimento dessas unidades é que o processo se dê por meio de "pequenos passos", que possuam, de início, elementos relativamente simples como, por exemplo, termos, procedimentos, e siga avançando, a partir daí, a ideias mais "complexas e abstratas" como conceitos, princípios, modelos e teorias.

Ainda que uma das premissas desse método avaliativo seja de individualizar os tratamentos destinados aos sujeitos presentes em uma sala de aula, sendo necessário estabelecer estratégias de acordo com a idiosincrasia do aluno, a avaliação formativa também se mostra como um instrumento socializador, já que, segundo Ruiz, existem algumas premissas a serem atendidas em relação ao ambiente da sala de aula. Em suas palavras:

[...] A necessidade de organizar os alunos em grupos corretores, registradores, niveladores, é uma das funções mais interessantes da avaliação formativa já que se faz necessário um clima de afetividade, de relações amplas e sãs, de competência leal a fim de que a classe se converta em um centro harmonioso de trabalho criativo e eficaz. (Ruiz, 2000).

Segundo Rotger, a interação social dos indivíduos em sala de aula "relação consigo mesmo e seus companheiros", constitui um dos fundamentos da avaliação formativa – em suas palavras, "conteúdos básicos" – os outros sendo: o desenvolvimento de atitudes e os conhecimentos específicos da área em questão (Rotger, 1990, apud Ruiz, 2000). Bloom e colaboradores resumem a asserção posta acima propondo que no processo de instrução existe uma "interação entre o aprendiz ou aprendizes, o material – ou os problemas – e o professor", fato que pode ser entendido como o "âmago do processo de instrução" (Bloom *et al.*, 1971, p.18).

Por meio dessa dinâmica, o docente pode tomar ciência sobre as falhas e logros de seus alunos durante o processo de ensino e aprendizagem, elaborando, com esses dados, um "diagnóstico básico da situação" (Rotger, 1990, apud Ruiz, 2000).

Tendo conhecimento da situação em que se encontram seus alunos, o docente pode cadenciar à sua maneira as atividades avaliativas, o que redundará em um "maior rendimento" (Ruiz, 2000) de seus aprendizes, pois "cada aluno saberá a que voltar sua atenção e tomará decisões mais acertadas e operativas". Vindo ao encontro do que preconiza Ruiz, Bloom e colaboradores

(Bloom *et al.*, 1971, p.60) citam que “para o estudante que tenha atingido um domínio completo da unidade” a avaliação formativa reforçará sua aprendizagem e assegurará que o estilo adotado por ele está adequado. E, para o aluno que não mostrou domínio em certa unidade, “a avaliação revela os pontos específicos de dificuldade” de aprendizagem apresentados.

Ruiz destaca que a avaliação formativa possui “funções acadêmicas” e “administrativas”. Como exemplos de função acadêmica, podemos citar que:

Distribui e regula adequadamente o ritmo da aprendizagem; enfatiza os objetivos e conteúdos mais relevantes; detecta as deficiências, erros, acertos e falhas que os estudantes apresentam em suas aprendizagens; delimita os fatores causais diretos e indiretos que influem ou condicionam a aprendizagem do estudante; mantém um constante seguimento sobre os procedimentos e instrumentos de avaliação formativa e sobre as correções implementadas a fim de verificar sua eficiência na detecção e superação das falhas; fornece oportunidades de maior êxito a aqueles participantes que tem entrado no processo de ensino e aprendizagem com um nível de conhecimentos superiores ao restante do grupo. (Ruiz, 2000).

Outro aspecto da avaliação formativa é que ela fornece respostas quanto à habilidade do educando em “transformar problemas formulados verbalmente” em números. Dificuldades nesse sentido podem decorrer, segundo os autores, de uma inadequação “ao nível de vocabulário” ou da incapacidade de “demonstrar formulações aritméticas” (Bloom *et al.*, 1971, p.68).

Ao se tratar dos resultados apresentados pelos alunos na realização de avaliações formativas, Bloom e colaboradores destacam que é conveniente hierarquizar os avanços apresentados em suas resoluções, de acordo com “níveis de complexidade do processo de aprendizagem”. Esses níveis são divididos e ordenados da seguinte forma: “conhecimento de termos; conhecimento de fatos; conhecimentos de regras e princípios; habilidade na utilização de processos e procedimentos; capacidade de fazer traduções e capacidade de fazer aplicações” (Bloom *et al.*, 1971, p.130–132).

Nas linhas abaixo faremos uma explanação das categorias citadas, porém, suprimiremos aquela que trata de conhecimento de fatos, uma vez que ela possui mais significado quando se trata da aprendizagem vinculada aos temas ligados à área de humanas.

Dentro da categoria conhecimento de termos, destaca-se o “vocabulário específico de um assunto que o aluno deve aprender”. A ideia é que durante o processo de instrução o aluno tenha a capacidade de definir, identificar e determinar quando um novo termo está sendo empregado de maneira correta ou não. Segundo os autores, esse seria o “nível mais baixo” da hierarquia.

Por conhecimentos de regras e princípios, os autores destacam a “evocação dos principais esquemas e padrões através dos quais os fenômenos e ideias de uma área do conhecimento se organizam”. Assim, o aluno deve conhecer as regras ou princípios da referida área, recordando de exemplos já trabalhados

durante o processo de instrução, onde tais princípios são aplicados corretamente. Essa categoria refere-se, como foi posto, à “memorização de regras e princípios”, porém, já necessita de uma certa abstração, por parte do estudante, para que esse possa apreendê-los.

De maneira geral, espera-se que os educandos adquiram a destreza de realizar certas operações de maneira adequada, atingindo um resultado correto, quando tratamos de atividades das áreas exatas. A capacidade do aluno em seguir certos passos e realizar determinados procedimentos, durante a resolução de um problema a ele proposto, está vinculada à categoria que trata da habilidade na utilização de processos e procedimentos.

A capacidade do discente em transformar um problema no formato verbal para um simbólico enquadra-se na categoria que trata da capacidade de fazer traduções. Ou seja, no processo de instrução, espera-se que o estudante adquira a capacidade de abstrair formas concretas, gerais de um problema e executar a transposição do mesmo para uma forma mais abstrata.

No mais alto nível da hierarquia encontra-se a capacidade de fazer aplicações. Pode-se entender esse processo como o “uso de regras e princípios na solução de problemas que surgem em situações novas ou não familiares ao aluno”. Assim, o que é esperado de um aluno que tenha atingido esse nível de aprendizado é que ele possa reconhecer pontos essenciais do problema, determinando regras, princípios e generalizações que podem ou não ser aplicadas no processo de obtenção da solução do problema não familiar.

Metodologia

A coleta de dados para a geração dessa pesquisa foi realizada na disciplina Fundamentos da Mecânica Clássica – ofertada aos alunos do Programa em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual de Londrina (<http://www2.uel.br/cce/pos/mecem/>) – durante o 1º semestre do ano de 2007. Ainda que a disciplina fosse voltada para um público com formação específica em Física, alunos formados em Matemática também poderiam cursá-la. O professor da disciplina também abriu a possibilidade para que alunos ainda não formados em Física cursassem-na como ouvintes. Dessa forma, a classe formada foi bastante heterogênea no que toca os conhecimentos prévios em relação aos conceitos e formalismos da Mecânica Clássica e, também, com relação aos objetivos que levaram cada aluno a cursá-la.

Participaram da disciplina alunos regularmente matriculados no mestrado e no doutorado, alunos ouvintes e alunos matriculados como especiais, ou seja, sem vínculos institucionais com a pós-graduação. Havia alunos de diversas faixas etárias, alguns recém-graduados – outros em processo de graduação – havia um aluno graduado em Física há mais de 10 anos; alunos licenciados em Física e outros em Matemática.

O professor dividiu o curso em 3 módulos, que poderiam ser tomados como as “unidades de aprendizagem” em Bloom e colaboradores (Bloom *et al.*, 1971, p.130). Os módulos tratavam da Mecânica do ponto de vista do formalismo

newtoniano, lagrangeano e hamiltoniano, cada um deles tendo sido avaliado com uma prova escrita, contendo problemas típicos – os quais poderiam ser identificados como *exemplares* kuhnianos – que abordavam o movimento retilíneo uniforme, queda livre, movimento de projéteis, sistema massa-mola, o pêndulo simples e duplo, etc. A prova 1 correspondeu à avaliação do módulo 1, a prova 2 do módulo 2, etc. As provas eram compostas por 4 questões das quais 3 eram semelhantes (em essência) às questões trabalhadas em sala de aula para cada módulo. A quarta questão foi colocada, pelo professor, como um ‘desafio’ aos estudantes, uma vez que em sala os discentes não haviam trabalhado problemas que tivessem semelhança a ela, em termos das situações expostas.

A novidade introduzida pelo professor no curso consistiu em permitir que as provas de cada módulo pudessem ser refeitas pelo aluno quantas vezes ele quisesse para que ele tivesse condições de melhorar a sua nota. Ao refazer sua prova o aluno teria também a possibilidade de evoluir no aprendizado do conteúdo. A coluna Repetições da Tabela 1 indica as várias vezes em que as provas foram refeitas: o primeiro número designa o módulo correspondente à prova, já o segundo, designa o momento em que foi feita a prova, ou seja: 1.1 indica a prova 1 feita pela primeira vez; 1.2, a prova 1 feita pela segunda vez; 1.3, a prova 1 feita pela terceira vez; e assim por diante. Dessa forma, as avaliações foram concebidas simultaneamente como formativas e somativas.

O material a ser analisado nessa pesquisa é composto por dois conjuntos de dados. O primeiro refere-se às transcrições de entrevistas e o segundo às resoluções dos itens de uma das questões propostas na prova (questão 1), ambos correspondentes a apenas um dos alunos. Ou seja, trata-se de um estudo de caso. O sujeito em questão cursou a referida disciplina como aluno especial do mestrado durante os quatro meses (quinze encontros) realizados durante um semestre letivo. As entrevistas mantidas com o discente foram feitas em vídeo – sempre após a realização das avaliações. Ao todo foram efetuadas 9 (nove) entrevistas com o referido aluno, entretanto, para esse trabalho utilizaremos apenas 3 (três), uma vez que trataremos aqui da evolução do aprendizado desse sujeito ao longo do primeiro módulo da disciplina. Essas entrevistas versaram sobre a realização das prova 1.1 (prova 1 feita pela primeira vez), prova 1.2 (prova 1 feita pela segunda vez), prova 1.3 (prova 1 feita pela terceira vez) e sobre a formação acadêmica do sujeito. Vale ressaltar que ao término do curso foi feita uma entrevista com o indivíduo para que esse relatasse suas impressões a respeito da disciplina cursada – nessa entrevista foi pedido a ele que falasse sobre sua formação até aqueles dias.

O presente trabalho caracteriza-se por ser uma pesquisa de cunho qualitativo (Bogdan e Biklen, 1994). Todas as entrevistas foram realizadas de forma não estruturada, em diálogos “mais livres, menos estruturados” (Lüdke e André, 1986, p.34), mediante um colóquio informal mantido entre o pesquisador e cada entrevistado. As transcrições das entrevistas foram tratados à maneira proposta por Moraes (2003) em sua análise textual discursiva, que nada mais é do que “um exercício de elaborar sentidos”

(Moraes, 2003, p. 193), envolvendo: a fragmentação dos dados em unidades de análise; agrupamento das mesmas segundo características comuns evidenciadas pelos significantes; agrupamento dos significantes nas categorias.

O aluno D, embora não tenha tido um curso específico de Mecânica Clássica em seu curso de graduação, conseguiu um desempenho bastante satisfatório no transcorrer da disciplina, tendo ficado com a média final 9,5 (a média final foi calculada como a média aritmética entre as notas das provas 1.3, 2.3 e 3.2), conforme mostrado na tabela abaixo:

Prova	Repetições	Notas
1	1.1	1,5
	1.2	8,5
	1.3	9,5
2	2.1	4,0
	2.2	9,0
	2.3	9,5
3	3.1	7,5
	3.2	9,5
Média final		9,5

Tabela 1.- Evolução das notas do aluno D.

Vemos que o aluno D obteve um progresso em suas notas nas três provas aplicadas, o que é mais marcante no caso da prova 1. Entretanto, embora D tenha feito e refeito todas as três provas, por motivo de falta de espaço, apresentaremos aqui somente os seguintes dados:

as resoluções da questão 1 da prova 1, aplicada três vezes ao longo do módulo 1 (provas 1.1, 1.2 e 1.3);

as entrevistas realizadas com o aluno logo após a aplicação dessas provas.

O aluno D formou-se em Matemática no ano 2000 e concluiu sua pós-graduação, em nível de especialização no mesmo ano. Em entrevistas mantidas com o sujeito, constatamos que, durante sua graduação, ele teve um contato muito pequeno com conteúdos relacionados à Física, tendo cursado o que denominamos no Brasil de licenciatura curta, cuja duração é de 3 anos.

Nosso problema consiste em explicar como se deu a evolução desse aluno ao longo das sucessivas repetições da resolução da prova 1 (questão 1); por que ele insistiu em refazer a prova e de onde veio a sustentação para a realização dessa meta. A questão 1 está enunciada abaixo:

QUESTÃO 1

Um carrinho de madeira, de massa m , com rodinhas, se movimenta horizontalmente, conforme mostra a figura abaixo. O carrinho é impulsionado através de um mecanismo qualquer no início do movimento e adquire uma velocidade inicial v_0 . Considere duas situações: Caso I – Não há atrito. A resultante das forças no eixo-x é nula e o movimento é

realizado com velocidade constante e igual a v_0 . Caso II – Há atrito. A resultante horizontal é igual à força de atrito, cujo sentido é contrário ao movimento, tendo intensidade $F = \mu N$, onde N tem mesmo valor do peso do carrinho, o qual se move nesse caso até o repouso. Encontre, para o caso I e o caso II: a) as equações de movimento; b) a velocidade $v(t)$; c) a posição $x(t)$.

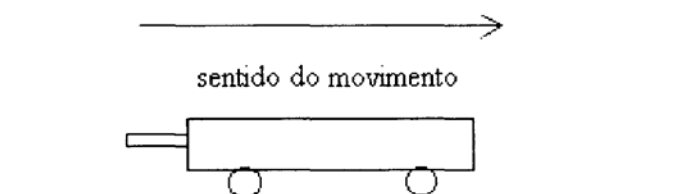


Figura 2.- Ilustração do movimento do carrinho.

Apresentação dos dados

Apresentaremos os dados na seguinte sequência: prova 1.1, casos I e II; prova 1.2, casos I e II; prova 1.3, casos I e II.

PROVA 1.1

Para a prova 1.1, questão 1, caso I, o aluno escreveu o seguinte:

$$S = f(t)$$

Onde S é a posição do corpo no tempo t . Resolução do item a)

$$V_m = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$
$$V_m = \frac{S_2 - S_1}{t_2 - t_1}$$
$$V_m = \frac{f(t_1 + \Delta t) - f(t_1)}{\Delta t}$$

Resolução do item b)

$$V = S' = f'(t)$$

Onde V é a derivada primeira de $f(t)$. Resolução do item c)

$$a = S'' = f''(t)$$

E onde a é a segunda derivada de $f(t)$.

Quadro 3.- Resolução apresentada pelo aluno D – prova 1.1, questão 1, caso I.

Na primeira oportunidade em que resolveu a prova 1 (quadro 1), ou seja, na prova 1.1, D demonstrou que não havia se preparado da maneira necessária para lograr um bom resultado – em termos somativos – com sua avaliação. Mas o que mais nos chamou atenção foi o diagnóstico do estágio em que o discente se encontrava em termos dos níveis do processo de aprendizagem.

Podemos constatar que o aluno se limitou a escrever a definição de velocidade média, de velocidade e aceleração, não conseguindo atingir nenhuma das respostas esperadas para os itens da questão 1, caso I.

Em sua resolução para a prova 1.1, questão 1, caso II, encontramos o seguinte:

$$\begin{aligned} & \text{Resolução do item a)} \\ & F = -\mu N \\ & m \frac{d^2 x}{dt^2} = -\mu N \\ & m \frac{dv}{dt} = -\mu N \\ & \text{Resolução do item b)} \\ & \frac{dv}{dt} = \frac{-\mu N}{m} \\ & \int_0^t \frac{dv}{N} = \int -\frac{\mu}{m} dt \\ & \ln N \Big|_0^b = -\frac{\mu t}{m} \Big|_0^t \\ & v = N e^{-\frac{\mu}{m} t} \\ & \text{Resolução do item c)} \\ & v = N e^{-\frac{\mu}{m} t} \\ & \frac{dx}{dt} = N e^{-\frac{\mu}{m} t} \\ & \int_0^t dx = \int_0^t N e^{-\frac{\mu}{m} t} dt \\ & x = \int_0^u N e^u \left(-\frac{m}{b} \right) du \\ & x = -\frac{N}{b} m e^{-\frac{\mu}{m} t} + \frac{Nm}{b} \end{aligned}$$

Quadro 2.- Resolução apresentada pelo aluno D – prova 1.1, questão 1, caso II.

Observamos, no quadro 2, que o aluno escreveu corretamente apenas a equação de movimento (item a), mas se enganou na resolução da primeira integral, obtendo respostas incorretas para os demais itens.

Na entrevista realizada logo após o término da prova 1.1 encontramos alguns indícios que indicam possíveis causas das deficiências apresentadas em sua resolução. D relata que estudou por um livro do ensino médio para fazer os exercícios presentes nessa avaliação:

Eu os fiz, mas não sei se vai estar certo. Fiz o 1, o 2 e o 3 [questões 1, 2 e 3 da prova 1.1]. O 1, como eu tinha estudado em um livro de ensino médio, eu achei um pouco mais fácil, não sei se eu fiz todo ele certo. Pelo menos eu entendi o desenvolvimento do exercício... Não sei se os cálculos vão estar certos.

Ainda tratando do relato de D após a realização da prova 1.1, constatamos algumas das dificuldades encontradas por ele na execução situação II. Em suas palavras:

Eu estou em dúvida quando ela... as forças... tinha um movimento e a aceleração era contrária, eu não sabia quando era negativo e quando era positivo, fiquei em dúvida na resolução do exercício. Então, eu fiz também, tentei chegar na equação do movimento, depois da equação do movimento, tentei chegar na equação da velocidade, fazendo a primeira integral e depois da primeira integral, tentei chegar na segunda integral que era a equação da posição.

PROVA 1.2

Por meio da resolução da avaliação 1 feita pela segunda vez, ou seja, com a prova 1.2, o aluno pôde mostrar os avanços em seu processo de aprendizagem.

<p>Resolução do item a). Não há atrito $\rightarrow F = 0$</p> $m \frac{d^2x}{dt^2} = 0$ <p>Resolução do item b)</p> $m \frac{dv}{dt} = 0$ $\int_{v_0}^v dv = \int_0^t 0 dt = 0$ $v - v_0 = 0$ $v = v_0$ <p>Resolução do item c)</p> $\int_0^t dx = \int_0^t (v_0 - ugt) dt$ $x = x_0 + v_0 t - \frac{1}{2} ugt^2$

Quadro 3.- Resolução apresentada pelo aluno D – prova 1.2, questão 1, caso I.

Vemos que o aluno resolve corretamente os itens a) e b) do caso I, prova 1.2, (quadro 3) mas se engana no item c). Em sua fala, D demonstra ter consciência, após a realização da prova 1.2, que suas deficiências eram intensas, porém, seus avanços existiram. Todavia, ele nos revela a maneira encontrada para lograr êxito na resolução dessa avaliação. Em suas palavras:

É, refiz a primeira prova. Eu acho que eu avancei um pouquinho; entendi, pelo menos, aqueles conceitos que eu tinha errado na 1ª prova. Eu acho que, tirando as dúvidas com o M com o O e com a A, eu tirei as dúvidas do que eu tinha errado na outra prova, se bem que na outra prova eu não fiz quase nada. Então, eu tive que fazer toda a prova novamente.

M, O e A, eram outros alunos do curso de Mecânica, com os quais às vezes D estudava.

Nas linhas abaixo mostraremos a resolução referente ao caso II, da prova 1.2 (quadro 4). Ela nos revela mais alguns detalhes dos avanços obtidos por D em seu processo de aprendizagem. O aluno parte do caso geral da 2ª lei de Newton e obtém as respostas para os itens a e b:

<p>Resolução do item a)</p> $m \frac{d^2x}{dt^2} = -F$ $m \frac{d^2x}{dt^2} = -umg$ <p>Resolução do item b)</p> $m \frac{dv}{dt} = -umg$ $\frac{dv}{dt} = -\frac{umg}{m}$ $v = v_0 - ugt$ <p>Resolução do item c)</p> $\frac{dv}{dt} = -ug$ $\int_0^t dv = -ugd$ $v - v_0 = -ugt$ $v = v_0 - ugt$

Quadro 4.- Resolução apresentada pelo aluno D – prova 1.2, questão 1, caso II.

Em mais uma demonstração da consciência adquirida após a realização da prova 1.2, D destaca que

[...] mesmo na hora que eu vou fazer toda a prova, surgem dúvidas ainda... de como... alguns conceitos, como... eu não sei quando tende a zero, a forma como aplicar na newtoniana.

PROVA 1.3

Após aproximadamente um mês, o aluno revelou ao professor da disciplina que gostaria de refazer a prova 1.2, porque “sabia que poderia melhorar mais

essa nota", o que, de fato, ele demonstrou na resolução da prova 1.3 (questão 1, para as duas situações). Podemos conferir seu desempenho a seguir (caso I):

$$\begin{aligned} &\text{Resolução do item a)} \\ & m \frac{d^2 x}{dt^2} = 0 \\ &\text{Resolução do item b)} \\ & v(t) = v_0 \\ &\text{Resolução do item c)} \\ & \int \frac{dx}{dt} = \int v_0 dt \\ & x(t) \Big|_0^t = v_0 t \Big|_0^t \\ & x(t) - x(0) = v_0 t \\ & x(t) = x_0 + v_0 t \end{aligned}$$

Quadro 5.- Resolução apresentada pelo aluno D – prova 1.3, questão 1, caso I.

A resolução da questão para o caso II se deu da seguinte forma:

$$\begin{aligned} &\text{Resolução do item a)} \\ & m \frac{d^2 x}{dt^2} = -F \\ &\text{Resolução do item b)} \\ & v(t) = v_0 - \mu g t \\ &\text{Resolução do item c)} \\ & \int \frac{dx}{dt} = \int v_0 dt - \int \mu g t dt \\ & x(t) - x_0 = v_0 t - \frac{1}{2} \mu g t^2 \\ & x(t) = x_0 + v_0 t - \frac{1}{2} \mu g t^2 \end{aligned}$$

Quadro 6.- Resolução apresentada pelo aluno D – prova 1.3, questão 1, caso II.

Análise dos dados

Como dissemos, estamos interessados em analisar a evolução do aprendizado de um aluno durante um curso de Mecânica Clássica. Observando pelo prisma de nosso balizamento teórico, poderíamos dizer que o discente demonstrou uma evolução no domínio dos níveis da hierarquia de complexidade do processo de aprendizagem, conforme exposto anteriormente. Relembrando, tínhamos os seguintes níveis (do mais simples ao mais complexo):

- conhecimento de termos;
- conhecimentos de regras e princípios;
- habilidade na utilização de processos e procedimentos;
- capacidade de fazer traduções;
- capacidade de fazer aplicações.

Consideremos, por exemplo, as sucessivas resoluções do caso I (movimento retilíneo uniforme):

Na prova 1.1, o aluno não conseguiu obter nenhuma resposta correta para nenhum dos itens (quadros 1 e 2). Podemos localizá-lo praticamente no nível 1, já que ele demonstrou conhecer apenas os conceitos de velocidade e aceleração.

Na prova 1.2 (quadros 3 e 4), no entanto, o aluno já consegue resolver os dois primeiros itens, confundindo-se no terceiro. Demonstra certo domínio sobre alguns esquemas de organização [escreve corretamente a equação de movimento] e alguma habilidade na resolução de problemas mais simples [cálculo da função $v(t)$]. O aluno partiu do caso geral da segunda lei de Newton e desenvolveu as etapas necessárias para a obtenção da equação de movimento, bem como, para a obtenção da equação da velocidade – podemos perceber que os limites de integração, até esse ponto, não estão postos de maneira errônea, tanto para a velocidade quanto para o tempo. Podíamos situá-lo, nesse momento, entre os níveis 2 e 3. A partir daí, no desenvolvimento da questão, para tentar alcançar a resposta do item c, o aluno volta a cometer alguns erros. Após encontrar a expressão ' $v = v_0$ ', D busca pela equação da posição integrando uma sentença que não era aquela obtida há pouco, e sim uma híbrida, que continha o termo ' $-ugt$ ' – podemos notar também que os limites de integração voltam a ser 0 e t para o elemento ' dx '. Como resultado desse processo, D fornece uma resposta para a equação da posição solicitada no caso I que não condiz com a mesma, mas sim com o caso II.

Na prova 1.3, ele demonstra dominar toda a resolução do caso I (quadro 5), encontrando inclusive a função $x(t)$, estabelecendo-se no nível 3.

Para o caso II – movimento retilíneo uniformemente variado – teríamos o seguinte: Na prova 1.1 (quadro 2), item a), o aluno demonstrou o conhecimento sobre alguns termos e conseguiu escrever a equação geral para esse movimento, mas sem identificar a intensidade de N, a força normal, com o valor do peso mg . No item b) ele comete erros mais básicos, por exemplo, na integração de

$$\int_0^r \frac{dv}{N}$$

que resultou em $\ln N$, o que comprometeu o restante da resolução. Podemos situá-lo, talvez, entre os níveis 1 e 2 nesse momento.

Na prova 1.2 (quadro 4), os dois primeiros itens são resolvidos, mas o aluno comete uma falha no terceiro. Como no caso anterior, poderíamos situá-lo entre os níveis 2 e 3.

Finalmente, na prova 1.3, ele demonstra dominar toda a resolução do caso II (quadro 6), o que nos leva a situá-lo no terceiro nível de Bloom.

Em resumo, tomando por base as resoluções apresentadas por D nas avaliações 1.1, 1.2 e 1.3, para a referida questão, podemos inferir que houve, de fato, uma evolução do aluno D no que diz respeito ao domínio dos “níveis de comportamento” apontados por Bloom e colaboradores, passando no primeiro nível, conhecimento de termos, para os níveis 2 conhecimento de regras e princípios, e mesmo para o nível 3, que trata da habilidade de utilização de processos e procedimentos.

Considerações finais

Sem dúvida, o modo como as avaliações foram aplicadas – prova 1.1, 1.2 e 1.3 – levaram D a buscar sua evolução. Ainda que ele estivesse matriculado como aluno especial em um curso de pós-graduação, o que implicaria em sua mobilização, no sentido empregado por Bernard Charlot (2000, p. 54), podemos ponderar que a conquista de uma nota baixa no início da disciplina, na prova 1.1, por exemplo – fato que veio a ocorrer – poderia levá-lo ao fracasso total, talvez, levando-o à saída do curso. Entretanto, como o sistema avaliativo empregado pelo professor da disciplina foi diferenciado – não apenas somativo, mas formativo (ainda que empregado de maneira intuitiva por parte do docente) – D demonstrou estar empenhado, durante todo o processo, na melhoria de suas notas, como podemos observar na tabela 1.

Recordando o que preconiza Perrenoud, podemos dizer que ocorreu, nesse caso, um estímulo da ação educativa do professor no sentido de favorecer a “autorregulação” do aluno no sentido de gerir, ele próprio, seu projeto, seu progresso, diante das tarefas e obstáculos que se apresentaram ao longo do curso (Perrenoud, 1999, p.96). Esse fato vai ao encontro do que defendem Bloom e colaboradores (1971, p.60), pois os autores citam que esse tipo de avaliação “regula a aprendizagem dos alunos”, motivando-os a empregar o esforço necessário no momento adequado.

Devemos ressaltar que a ‘intuição’ do docente foi certa, pois, como já citamos anteriormente, nada impede que o professor extraia uma avaliação somativa de uma formativa, ou seja, o docente pode atribuir notas, classificando seus alunos ao final de uma etapa do curso, utilizando, para isso, as avaliações formativas que serviram de base para a condução da aprendizagem de seus educandos ao longo do tempo (Bloom *et al.*, 1971, p.68).

De certa forma, podemos concluir que a ação do docente contribuiu para com a “autorregulação” do processo de aprendizagem do aluno em questão, uma vez que para Santos (2002, p.01), esse processo é um “ato intencional que, agindo sobre os mecanismos de aprendizagem, contribui diretamente para a progressão e/ou redirecionamento dessa aprendizagem”.

Outro fato interessante, que também contribuiu para o 'crescimento' de D foi a ajuda recebida de seus colegas, A, M e O, que nos momentos de dificuldade – como observamos na declaração feita por D, em entrevista concedida após a prova 1.2 – tiravam suas dúvidas. Em suas palavras:

[...] eu acho que, tirando as dúvidas com M, com O e com A, eu tirei as dúvidas do que eu tinha errado na outra prova, se bem que na outra prova eu não fiz quase nada

Isso que acabamos de citar, também vai ao encontro do que preconizam Bloom e Rotger. O segundo entende, como já mencionamos, que a interação social dos indivíduos em sala de aula, a "relação consigo mesmo e seus companheiros", constitui um dos fundamentos – em suas palavras, "conteúdos básicos" – da avaliação formativa (Rotger, 1990, apud Ruiz, 2000). Bloom sintetiza isso como sendo o "âmago do processo de instrução" (Bloom *et al.*, 1971, p.18).

Tratando especificamente da produção escrita do discente D, observando a estrutura lógica de suas resoluções, para os exercícios em questão, notamos que ao resolver a prova 1.1, o aluno demonstrou sua falta de domínio quanto ao conhecimento dos termos empregados em resoluções de problemas físicos, bem como, em outros níveis de complexidade, a saber, conhecimento de regras e princípios e habilidade na utilização de processos e procedimentos. Somos levados a acreditar que essas deficiências advêm de sua formação inicial – deficitária em Física, por se tratar de uma licenciatura curta em Ciências – não sendo possível, com isso, a apreensão de habilidades referentes à utilização de processos e procedimentos oriundos do cálculo diferencial e integral em suas aplicações na Física.

Entretanto, com a resolução das avaliações 1.2 e 1.3, o aluno mostrou que tinha capacidade e se empenhou para que seu quadro evoluísse. Exemplos disso podem ser vistos nas resoluções referentes, principalmente, à avaliação 1.3, onde fica evidente que o nível de conhecimento de regras e princípios, referentes ao conteúdo da mecânica e habilidade na utilização de processos e procedimentos, oriundos do cálculo diferencial e integral, foram demonstrados pelo aluno.

Assim, podemos dizer que há fortes indícios de que os níveis supracitados foram consolidados, pois no caso do aluno D, como mostramos durante toda a análise, algumas deficiências apresentadas por ele nas resoluções iniciais foram desaparecendo ao longo de sua evolução. Tais conclusões estão apoiadas nos dados aqui apresentados e em outros disponíveis (que não foram abordados aqui por motivo de espaço), referentes às resoluções de outras três questões da mesma avaliação, resolvidas pelo aluno D, bem como por outros três alunos. É preciso apontar, entretanto, que isto não significa que defendemos a tese de que alunos que resolvem corretamente exercícios a eles propostos tenham assimilado o conhecimento de forma plena e definitiva. Todavia, se considerarmos, como Thomas Kuhn, que para que um aprendizado em ciências ocorra, os discentes devem ser expostos a problemas *exemplares*, por meio de uma imersão dos mesmos em um contexto científico, no qual

existem regras e padrões de conduta (Kuhn, 2006, p. 234), no caso analisado, podemos afirmar que foi isso que observamos. Ou seja, evolução do domínio do aluno na resolução dos exemplares propostos na prova não deixa de ser um indicativo de que houve uma aprendizagem.

A exposição sistemática do estudante a problemas exemplares diversos, trabalhados em sala de aula ou em outros momentos, com seus amigos, por exemplo, certamente contribuiriam para que 'o saber fazer' (passos e procedimentos na ordem correta) ou o 'saber aplicar' (leis e princípios, recordando de exemplos) fossem, assim, incorporados ao seu conhecimento.

Contudo, nossos dados revelam que o processo de instrução do aluno D em relação ao conteúdo da Mecânica está apenas começando. Níveis de complexidade que fornecem indícios de um aprendizado consistente, como a capacidade de fazer traduções e capacidade de fazer aplicações, não foram constatados em sua produção escrita, pelo menos na questão apresentada neste trabalho.

Por fim, gostaríamos de ratificar a posição exposta no início do artigo, de que a avaliação pode ser muito mais do que um simples instrumento de classificação de alunos, ela pode, desde que o professor se proponha à reflexão, ser um instrumento norteador de todo um processo de instrução, pois dela podem emergir erros e deficiências, bem como, êxitos apresentados por seus alunos ao longo da aprendizagem.

Referências bibliográficas

Bogdan, R.C. e S.K. Biklen (1994). *Investigação Qualitativa em Educação: uma introdução à teoria e aos métodos*. Porto: Porto.

Bloom, B.S., Hastings, J.T e G.F. Madaus (1971). *Manual de Avaliação Formativa e Somativa do Aprendizado Escolar*. São Paulo: Pioneira Editora.

Carvalho, L.M.O. e C.L.P. Martinez (2005). Avaliação formativa: a autoavaliação do aluno e a autoformação de professores, *Ciência & Educação*, 11, 1, 133-144.

Charlot, B. (2000). *Da relação com o saber: elementos para uma teoria*. Porto Alegre: Artmed.

Fernandes, D. (2006). Para uma teoria da avaliação formativa. *Revista Portuguesa de Educação*, 19, 2, 21-50.

Hadji, C. (2001). *Avaliação desmistificada*. Porto Alegre: Artes Médicas.

Hoffmann, J. (2002). *Avaliar para promover*. Porto Alegre: Editora Mediação.

Kuhn, T.S. (2006). *A Estrutura das Revoluções Científicas*. São Paulo: Perspectiva.

Lüdke, M. e M.E.D.A. André (1986). *Pesquisa em educação: Abordagens Qualitativas*. São Paulo: Pedagógica e Universitária LTDA.

Moraes, R. (2003). Uma tempestade de luz: a compreensão possibilitada pela análise textual discursiva, *Ciência & Educação*, 9, 2, 191-211.

Perrenoud, P. (1999). *Avaliação: da excelência à regulação das aprendizagens entre duas lógicas*. Porto Alegre: Artes Médicas.

Rotger, B. (1990). *Evaluación Formativa*. Madrid: Editorial Cincel.

Ruiz, C.M.P; (2000). *Evaluación Formativa*. Venezuela. Disponível em <<http://www.analitica.com/va/sociedad/articulos/2966931.asp>>. Acesso em: 02 maio 2008.

Santos, L. (2002). Autoavaliação regulada: porquê, o quê e como? Em P. Abrantes e F. Araújo (Coord.), *Avaliação das aprendizagens* (pp. 75-84). Lisboa: DEB, ME.