

Uma Análise do Uso de Objetos de Aprendizagem como Ferramenta de Modelagem Exploratória Aplicada ao Ensino de Física Quântica

Francisco Herbert Lima Vasconcelos¹, Bergson Rodrigo S. de Melo¹, Gilvandenys Leite Sales¹, José Aires de Castro Filho¹, Mauro Cavalcante Pequeno¹

¹Universidade Federal do Ceará - UFC, Instituto UFC Virtual
Campus do Pici, Bloco 901 - 1º Andar, CEP: 60.455-970 – Fortaleza, Ceará

herbert@fisica.ufc.br, j.castro@ufc.br, mauro@vdl.ufc.br

Abstract. *This paper presents results related to the development of activities of applied exploratory modelling to Quantum Physics Teaching with the use of the Object of Learning - OA Quantum Duck. This OA makes a metaphor to the Photoelectric Effect and it makes possible the calculation of the constant of Planck. For the accomplishment of this study an experiment was delineated with students of the medium teaching. Through this work, it is noticed that the construction or the manipulation of a model doesn't depend exclusively of as the students they dominate the employed logic in the tool computacional, but of the understanding about the physical phenomenon and your abilities in relating him/it with the objective of the developed activity.*

Resumo. *Este artigo apresenta resultados relacionados ao desenvolvimento de atividades de modelagem exploratória aplicada ao Ensino de Física Quântica com a utilização do Objeto de Aprendizagem - OA Pato Quântico. Este OA faz uma metáfora ao Efeito Fotoelétrico e possibilita o cálculo da constante de Planck. Para a realização deste estudo foi delineado um experimento com estudantes do ensino médio. Através deste trabalho, percebe-se que a construção ou a manipulação de um modelo não depende exclusivamente de como os alunos dominam a lógica empregada na ferramenta computacional, mas sim do entendimento sobre o fenômeno físico e suas habilidades em relacioná-lo com o objetivo da atividade desenvolvida.*

1. Introdução

O uso de ferramentas computacionais para modelagem no ensino de Física vem se apresentando como um recurso de grande potencialidade no processo de aprendizagem. Tais ferramentas vão desde papel e lápis até a utilização de tecnologias interativas computacionais [Oliveira, 2006]. Em Física, se a versão em papel de um modelo revela sua natureza estática, na qual é privilegiada uma versão instantânea da realidade, a sua versão computacional é dinâmica, na medida em que o modelo pode ser realimentado ou reiniciado e os resultados desse procedimento auxiliam na reestruturação e compreensão da realidade, além de permitir a realização de cálculos que vislumbram uma melhor evolução temporal da situação estudada.

Um dos recursos que atualmente se apresentam como ferramentas para modelagem são os Objetos de Aprendizagem (OA). Um desses OA é o *Pato Quântico*,

que objetiva facilitar a compreensão do Efeito Fotoelétrico, tratando da remoção de elétrons de uma superfície metálica, quando nela incide luz (fótons) de determinada frequência [Sales, 2005].

Neste contexto, este OA faz uma boa metáfora ao Efeito Fotoelétrico, possibilitando o cálculo de uma das mais importantes constantes da natureza, o “ h de Planck”. Desta forma possibilita aos alunos realizarem uma atividade de modelagem por meio de um ambiente lúdico de aprendizagem para o cálculo de tal constante, reduzindo assim as dificuldades de práticas experimentais nesta área.

A proposta deste artigo é descrever uma aplicação do uso do OA *Pato Quântico*, por meio da realização de atividades de modelagem exploratória no cálculo da constante de Planck. Esta aplicação ocorreu com alunos da 3ª Série do Ensino Médio do Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará – CEFET-CE.

Este artigo está dividido nas seções que se seguem abaixo: na seção 2 é apresentado o referencial teórico do trabalho; na seção 3, o OA - *Pato Quântico* e suas características; na seção 4 é abordada a dinâmica do experimento com alunos do Ensino Médio; na seção 5 são apresentados os resultados obtidos; e por fim, na seção 6, as considerações finais.

2. Referencial Teórico

A construção de um modelo sobre uma teoria em Física, apresenta-se principalmente no Ensino Médio, através de modelos matemáticos didáticos. Tais modelos constituem-se como um conjunto de símbolos e relações matemáticas que expressam e interpretam uma ou mais hipóteses de maneira quantitativa de uma situação próxima da realidade [Mellar, 1994].

Uma das formas de se trabalhar a modelagem aplicada a tópicos referentes ao ensino em Ciências pode ser feita a partir do uso de recursos computacionais. Um Ambiente de Modelagem Computacional (AMC) consiste em uma ferramenta onde os estudantes podem construir modelos a partir de suas próprias concepções sobre um fenômeno ou explorar modelos já prontos. Essas ferramentas são denominadas de ambiente de modelagem devido ao fato de haver uma proposta educacional associada à sua utilização [Oliveira, 2006]. Além disso, ambientes computacionais em geral aplicados ao ensino, tais como *softwares* educativos, podem ser utilizados como AMC, desde que seu uso seja realizado a partir de atividades de modelagem, através da exploração de suas ferramentas disponíveis.

A atividade de modelagem computacional apresenta-se de dois tipos [Mellar, 1994]: (a) Modelagem Exploratória: nesta atividade o aluno é levado a explorar um modelo previamente conhecido ou construído pelo professor sobre um determinado fenômeno; (b) Modelagem Expressiva: nesta atividade o aluno é levado a construir seus próprios modelos a partir de suas próprias concepções sobre um fenômeno ou sistema estudado.

Portanto, os ambientes computacionais de modelagem podem ser utilizados de acordo com a forma de raciocínio empregado na realização de uma atividade ou na resolução de um problema. A atividade de modelagem desenvolvida a partir de um software educativo poderá apresentar-se como uma proposta viável para melhorar os níveis de compreensão dos conteúdos tratados pelo professor em sala de aula [Mellar, 1994]. Este artigo relata resultados e perspectivas do uso do Objeto de Aprendizagem –

Pato Quântico como ferramenta de modelagem exploratória a partir da análise referente ao cálculo da constante de Planck.

3. O Objeto de Aprendizagem Pato Quântico

O *Pato Quântico* (<http://www.proativa.vdl.ufc.br>) é um objeto de aprendizagem do tipo jogo-simulação. Este AO tem por objetivo facilitar a compreensão do Efeito Fotoelétrico, que trata da remoção de elétrons de uma superfície metálica quando nela incide luz (fótons) de determinada frequência.

Este OA faz uso de uma metáfora de patos que estão em constante movimento em um poleiro quântico, que simboliza a natureza dual, onda-partícula, dos elétrons ligados à superfície metálica ou catodo. A tela principal, dispõe de um canhão de fótons (Figura 1) em que os alunos devem definir a frequência de cada fótons e dispará-lo para arrancar o pato. [Sales, 2005].

Na busca de jogadas mais efetivas, o aluno deverá fundamentar suas estratégias de jogo e com isto desenvolver sua capacidade cognitiva. Quanto mais interações faz o usuário, maiores serão suas possibilidades de somar pontos, isto poderá levá-lo a utilizar e analisar cada material do poleiro quântico.

4. Dinâmica do Experimento

Várias pesquisas têm sugerido que o uso de recursos computacionais aliados à modelagem computacional, voltados ao ensino de Física, são excelentes ferramentas para prover a resolução de dificuldades na aprendizagem [Mellar, 1994].

O experimento descrito abaixo visou estudar como se comportam os alunos desenvolvendo uma atividade de modelagem no cálculo da constante de Planck utilizando o OA *Pato Quântico*. Para explorar tal comportamento, realizamos um momento inicial com os alunos onde foram tratados os fundamentos teóricos de Física Moderna relacionados ao conteúdo que seria proposto na realização do trabalho de modelagem. A turma onde o experimento foi aplicado possuía 32 estudantes e a aplicação foi feita durante o 1º semestre de 2006 com alunos do Ensino Médio do CEFET-CE.

O principal tema abordado neste experimento era o cálculo da Constante de Planck, nos quais os alunos aprenderam a lidar com conceitos fundamentais sobre o Efeito Fotoelétrico e o cálculo da Frequência Mínima para diferentes materiais. Os alunos foram divididos em duplas, onde cada dupla recebeu uma ficha de aplicação, em que constavam atividades para o cálculo do h de Planck. Além de realizarem tal cálculo eles também deveriam apresentar o procedimento de realização, expondo o número de tentativas, erros, quantidade de vezes que reiniciaram a atividade e os valores encontrados para cada material.

Durante o **1º momento** do experimento, foram ministrados todos os conceitos envolvidos na resolução da atividade, inclusive com a apresentação de situações cotidianas que envolviam o problema, além de exercícios que demonstravam os procedimentos de realização da tarefa. No experimento um dos quesitos pesquisados é se as duplas foram capazes de lembrar desta resolução e melhorá-la para o caso do cálculo da constante. Ou seja, trata-se de um **caso de aplicação dos conceitos já estudados**, segundo a Taxionomia de Bloom [Bloom, 1956].

No **2º momento** do trabalho, após a divisão dos alunos, cada dupla teve a chance de testar inicialmente o OA que seria utilizado, explorando seus recursos e conhecendo as principais ferramentas de trabalho. De acordo com as regras do experimento, os mediadores da aplicação poderiam intervir para esclarecer alguma dúvida dos estudantes no que se referisse ao uso do recurso computacional em questão. Porém, isso deveria ocorrer apenas, nos casos em que, acompanhando as duplas o mediador notasse que os mesmos estivessem com dificuldades na manipulação dos recursos disponíveis no OA, ou até mesmo na utilização do computador. Em relação às estratégias e procedimentos de resolução da atividade de modelagem, cada dupla deveria realizar seu trabalho individualmente, de tal forma que, duas ou mais duplas não trocassem estratégias ou soluções para a realização do trabalho. Neste sentido, ficou estabelecido também que os alunos poderiam trocar sim, idéias e experiências sobre o uso do software, criando assim um ambiente de trabalho ético e colaborativo.

No **3º e último momento** do experimento foi realizada a atividade de modelagem exploratória a partir do software. Após o recebimento das fichas em que os alunos deveriam registrar todos os dados da modelagem, as duplas iniciaram seus trabalhos. À medida que cada dupla finalizava sua atividade, os mesmos recebiam um Dossiê Avaliativo (Tabela 1) na forma de múltipla escolha, em que os alunos avaliaram como tinha sido a experiência do uso do OA para o ensino de Física, além de limites e possibilidades desta ferramenta computacional para a aprendizagem.

Tabela 1. Dossiê Avaliativo do OA aplicado aos Alunos

DOSSIÊ AVALIATIVO DE OBJETO DE APREDIZAGEM – Pato Quântico	
Perguntas	Opões de Respostas
1. Na sua opinião qual a Proposta do OA utilizado?	a. () Efeito Fotoelétrico b. () Cálculo da Constante de Planck c. () Cálculo da Frequência Mínima
2. Você gostou de utilizar este OA para Física?	a. () Sim b. () Não
3. Por que? (caso sim na Pergunta 2). Porque ele é:	a. () Ensina Divertindo b. () Interativo e Dinâmico c. () Estimula a Aprendizagem
4. Que conceitos puderam ser trabalhados por você no uso deste OA?	a. () Frequência do Fóton b. () Função do Trabalho c. () Constante de Planck
5. As informações contidas neste OA foram suficientes para utilizá-lo?	a. () Sim b. () Não
6. Você conseguiu realizar todas as atividades proposta para este?	a. () Sim b. () Não
7. A navegação deste OA permite liberdade de exploração?	a. () Sim b. () Não
8. Este OA é fácil de ser utilizado?	a. () Sim b. () Não
9. Ao utilizar o OA, você se sentiu motivado para aprender o conteúdo:	a. () Sim b. () Não
10. O OA adapta-se ao seu ritmo de Aprendizagem em Física?	a. () Sim b. () Não
11. O OA atendeu as suas expectativas quanto ao ensino de Física pelo Computador?	a. () Sim b. () Não

5. Discussão dos Resultados

A partir dos dados coletados, a análise foi realizada sob duas óticas: o trabalho de modelagem com o uso do Pato Quântico e a avaliação de usabilidade deste OA para o Ensino de Física. As duas próximas subseções seguintes apresentam uma análise

(qualitativa e quantitativa) das fichas de atividades das duplas e os resultados obtidos através do Dossiê Avaliativo.

5.1. Análise dos Dados da Atividade de Modelagem

A tabela 2 a seguir é uma compilação dos dados coletados relevantes à análise de como se deu a atividade realizada por cada dupla de alunos. A legenda Cál, Cés, Pot, Sód, Pla, correspondem aos materiais utilizados para realizar o cálculo da constante de Planck. A partir destes dados podemos verificar os valores encontrados por cada uma das duplas de alunos da referida constante procurada. Além disso, verificamos o tempo gasto em minuto para a realização deste cálculo por material, além do seu número de tentativas e o número de erros. Como exemplo podemos analisar os dados apresentados pela **Dupla 1** no cálculo do Sódio. Nesta situação, estes alunos encontraram um valor de aproximadamente 4,14 para a constante de Planck em um tempo de aproximadamente 2 minutos, realizando 2 tentativas e não responderam (NR) ao número de erros que cometeram para a resolução desta constante.

Tabela 2. Dados Coletados das Atividades de Modelagem

Alunos	Valores calculados da Constante de Planck (10^{-15} ev/s)					Tempo gasto para a realização do Cálculo (em minutos)					Numero de Tentativas por Material					Numero de Erros por Material				
	Cál	Cés	Pot	Sód	Pla	Cál	Cés	Pot	Sód	Pla	Cál	Cés	Pot	Sód	Pla	Cál	Cés	Pot	Sód	Pla
Dupla 1	4,14	4,13	4,14	4,14	4,14	3	10	4	2	3	8	10	6	2	2	3	4	3	NR	1
Dupla 2	4,14	4,14	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	7	6	NR	NR	NR	5	5	NR	NR	NR
Dupla 3	4,13	4,125	5,56	5,52	1,537	5	10	3	2	7	4	7	NR	NR	9	2	7	NR	NR	4
Dupla 4	4,14	4,14	4,15	NR	NR	5	6	2	NR	NR	8	8	6	NR	NR	2	3	2	NR	NR
Dupla 5	4,14	4,14	4,15	4,14	4,3	3	3	3	NR	2	3	3	3	3	3	1	2	3	1	3
Dupla 6	4,14	4,14	NR	NR	NR	6	8	NR	NR	NR	8	11	NR	NR	NR	7	8	NR	NR	NR
Dupla 7	4,12	4,12	NR	NR	NR	9	5	NR	NR	NR	NR	7	NR	NR	NR	NR	2	NR	NR	NR
Dupla 8	4,12	4,12	4,15	4,13	1,53	8	5	3	10	12	NR	7	7	14	12	NR	2	4	8	5
Dupla 9	4,137	4,125	4,137	NR	NR	14	9	9	NR	NR	3	3	NR	NR	NR	2	1	NR	NR	NR
Dupla 10	4,14	4,13	NR	NR	NR	7	10	NR	NR	NR	9	8	NR	NR	NR	4	5	NR	NR	NR
Dupla 11	4,13	4,1257	4,1366	4,13	NR	6	12	3	NR	NR	2	16	4	2	NR	1	5	3	1	NR
Dupla 12	4,13	4,12	4,12	3,69	NR	8	3	2	2	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Dupla 13	4,14	4,14	4,13	4,14	1,5	14	20	5	5	20	6	9	14	10	17	1	2	6	7	13
Dupla 14	4,13	NR	NR	4,13	1,534	2	NR	NR	2	6	2	NR	NR	2	14	1	NR	NR	1	14
Dupla 15	4,14	4,14	NR	NR	NR	5	10	NR	NR	NR	4	12	NR	NR	NR	2	5	NR	NR	NR
Dupla 16	4,1	4,1	NR	NR	NR	4	2	NR	NR	NR	5	NR	NR	NR	NR	0	NR	NR	NR	NR

A partir dos dados coletados com as fichas apresentadas pelas 16 duplas de alunos, podemos determinar a média dos valores encontrados pelos alunos durante todo o experimento.

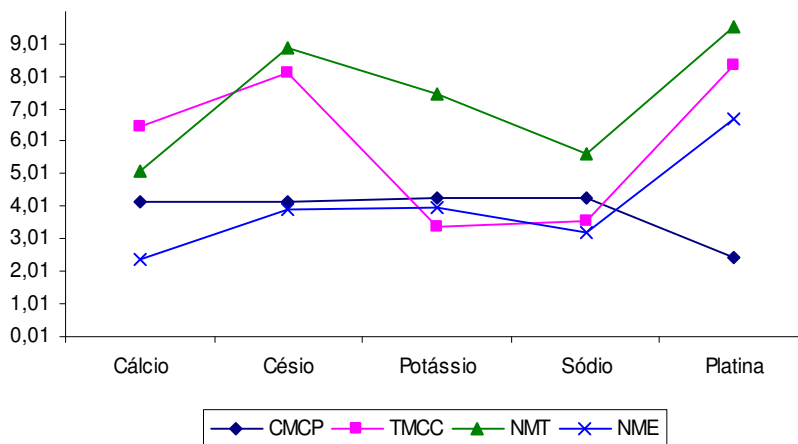


Figura 1 – Gráfico da Média dos Valores Encontrados pelos alunos

O gráfico da Figura 1 mostra que o CMCP (◇) – Cálculo Médio da Constante de Planck para o Cálcio, o Césio, o Potássio e o Sódio apresentados pelas duplas foi de aproximadamente 4,14 e que apenas para a Platina este valor foi de 2,8. Estes valores decorrem do fato de que, quando apresentamos os exercícios iniciais demonstrando os procedimentos de realização da tarefa de modelagem, os alunos utilizaram o mesmo procedimento para a realização da tarefa, com o Cálcio, o Césio, o Potássio e o Sódio. Porém para o cálculo da constante na Platina, o objetivo era determinar a frequência mínima e não o valor de h . Esta situação nova pela qual os estudantes demoraram a perceber, acabou sendo um fator comprometedor no desenvolvimento da modelagem de cada equipe. Esta situação desafio foi planejada propositalmente, para que realizássemos observações dos comentários e estratégias utilizadas pelas duplas.

Verifica-se ainda que o TMCC (■), que é o Tempo Médio para o Cálculo das Constantes foi maior quando os alunos desenvolveram as atividades para o Cálcio (6,4 minutos) e o Césio (8,13 minutos) e que estes valores reduziram bastante no cálculo do Potássio e do Sódio, chegando a 3,4 e 3,57 minutos respectivamente. Acreditamos que nestes casos o tempo foi maior para os primeiros materiais (Cálcio e Césio), pois os alunos ainda estavam se familiarizando com o ambiente e no decorrer da atividade o tempo foi sendo reduzido. Porém, para a Platina percebeu-se um aumento bastante acentuado, em que foram gastos em média 8,33 minutos para a determinação da constante, isto devido à situação desafio citada acima.

Através da Figura 1, podemos ainda analisar o número de tentativas e de erros de cada dupla para determinar a constante dos materiais disponíveis no software. No NMT (▲) – Número Médio de Tentativas para a realização da atividade proposta, percebe-se que o Cálcio foi o material em que as duplas tiveram menos trabalho para realizar o cálculo, com apenas 5,1 tentativas. Já para os outros materiais, estes valores foram 8,86 (Césio), 7,49 (Potássio) e 5,6 (Sódio). No entanto, podemos ainda verificar através do Gráfico 1, que no caso da Platina o número médio de tentativas para resolver a atividade é bem maior do que os demais (9,5). No que se refere ao NME (×) – Número Médio de Erros no desenvolvimento dos problemas propostos verificamos que o Cálcio (2,4) foi o material em que os alunos cometeram um menor número de erros. É perceptível no gráfico da Figura 1, que a Platina apresenta-se como o material pelo qual os alunos

erraram mais (cerca de 9,5 vezes). Para os outros materiais como o Césio (8,8), o Potássio (7,4) e o Sódio (5,6) o erro ficou dentro da média esperada.

5.2. Análise do Dossiê Avaliativo do OA

A partir dos dados coletados com a aplicação do Dossiê Avaliativo, podemos diagnosticar qual a opinião individual dos alunos sobre o uso do recurso computacional utilizado durante o experimento. As questões apresentadas na Figura 3, buscam avaliar na opinião dos estudantes a viabilidade do OA *Pato Quântico* para o Ensino de Física e o uso de OA no processo de aprendizagem de alguns tópicos de Física considerados normalmente difíceis de serem compreendidos.

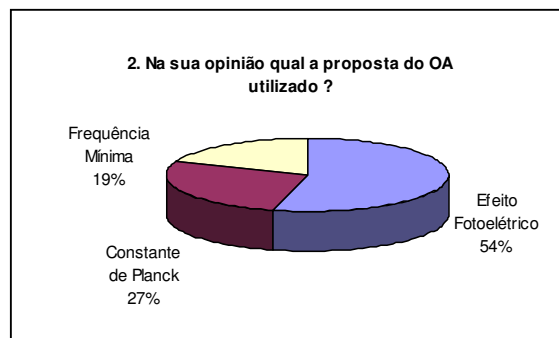


Figura 2 – Gráfico do uso de OA na opinião dos alunos

O gráfico da Figura 2 mostra que para a maioria dos estudantes (54%) a principal proposta do OA utilizado durante o experimento era a compreensão do Efeito FotoElétrico. Para cerca de 27% deles a proposta principal do software é apenas calcular a constante de Planck e para a minoria (19%) o objetivo é estudar o conceito de Frequência Mínima. Este gráfico mostra que os alunos compreenderam a proposta do *Pato Quântico* para o ensino de Física Quântica e não simplesmente para a realização do cálculo de uma constante.

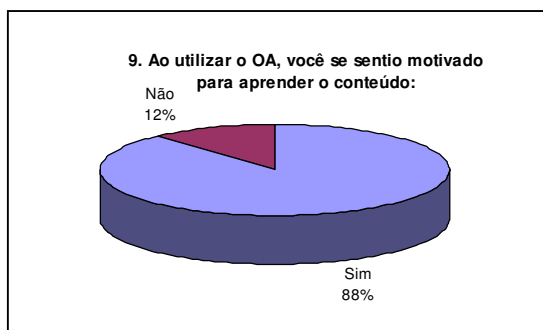


Figura 3 – OA na Aprendizagem

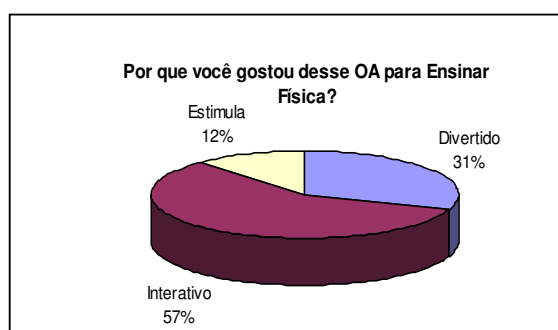


Figura 4 – OA no Ensino de Física

A partir da Figura 3, podemos perceber que na opinião da maioria dos alunos (88%) que participaram do experimento, o OA *Pato Quântico* é um objeto motivador para aprender o conteúdo e que apenas 12% acham que não.

O gráfico da Figura 4, é uma outra representação relevante do Dossiê aplicado com os alunos, no qual demonstra que para a maioria dos estudantes (57%) a Interatividade é o principal motivo da viabilidade desse OA para o ensino de Física. Porém, 31% dos alunos acham que pelo fato de ser divertido o OA permite uma melhor aprendizagem dos conteúdos de Física e apenas 12% acham que a principal razão da

importância deste tipo de ferramenta é o estímulo que o uso de software provoca nos alunos. Os gráficos acima são apenas uma amostra dos dados coletados durante toda a aplicação junto aos estudantes.

6. Considerações Finais

Os dados coletados no experimento por meio das atividades de modelagem, apontam que o ensino mediado por um OA a partir da modelagem exploratória, apesar de não ser uma metodologia familiar aos alunos, revela ser acessível ao ensino de alguns conceitos físicos. Observou-se ainda que os estudantes conseguiram manipular o modelo para o cálculo do h para diferentes materiais, com uma quantidade de erros mínima e em tempo razoavelmente pequeno. Tem-se, no entanto que, para o caso da Platina, os valores encontrados divergem do valor esperado. Este fato pode ser justificado pelas características da atividade, que buscou por meio deste material uma situação desafio, em que os estudantes deveriam refletir bem mais do que os outros materiais antes de apresentar uma possível solução do problema. Contudo, a maior parte dos cálculos realizados na atividade de modelagem apresentou comportamento próximo do esperado quando foram simulados no OA, uma vez que os valores encontrados a partir de atividades de modelagem exploratória também são flexíveis a pequenos erros no processo de construção dos modelos.

Através dos dados apresentados no Dossiê de Avaliação, podemos perceber que a maioria dos estudantes compreendeu a proposta do trabalho realizado, apontando que o objetivo da atividade tinha como enfoque a compreensão do efeito fotoelétrico como um todo e não apenas o cálculo da frequência mínima ou mesmo da constante de Planck.

Por fim, este estudo gerou resultados que contribuíram para o delineamento e o desenvolvimento de metodologias voltadas ao ensino de Física por meio de atividades de modelagem exploratória em ambientes computacionais. Destacamos ainda, como trabalhos futuros, a comparação dos resultados alcançados por cada dupla neste experimento, além da realização de novas pesquisas utilizando outros objetos de aprendizagem no contexto do ensino de Física.

Referências Bibliográficas

- Bloom, B.S. "Taxonomy of educational objectives: handbook 1, cognitive domain", New York, Longman, 1956.
- Mellar, H. & Bliss, J. Introduction: Modelling and Education. In: Mellar, H., Bliss, J., Boohan, R., Ogborn, J. & Topsett (Eds.) Learning with Artificial Worlds: Computer-Based Modelling in the Curriculum. The Falmer Press, London & Washington, D.C., Cap 1, p.1-7, 1994.
- Oliveira R. R. O Estudo da Modelagem Qualitativa Através do Fenômeno de Difusão de Gás : Um estudo Exploratório com Estudantes Universitários. Dissertação (Mestrado em Física) – Programa de Pós-Graduação em Física da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória-ES, 2006.
- Sales, Gilvandenys Leite. QUANTUM: Um Software para Aprendizagem dos Conceitos da Física Moderna e Contemporânea. Dissertação de Mestrado. Fortaleza: UECE/CEFET-CE, 2005.