

Contribuição ao XIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, **Ensino de Física: Em Busca da sua Identidade**, Brasília, Brasil, 25 a 29 de Janeiro de 1999

## **INCERTEZAS EXPERIMENTAIS: É POSSÍVEL CONVENCER OS ALUNOS DE SUA UTILIDADE?**

*L.B. Horodyski-Matsushigue, E.M. Yoshimura, E.W. Cybulska, N.H. Medina e P.R. Pascholati*

Instituto de Física da Universidade de São Paulo

E-mail [lighia@if.usp.br](mailto:lighia@if.usp.br)

### **Introdução**

A necessidade de estabelecer um intervalo de confiança para resultados experimentais está sendo amplamente reconhecida, pois é uma informação essencial para comparações significativas, tanto com valores esperados por considerações teóricas, quanto com outros resultados experimentais[1]. Entretanto, estão sendo acumuladas evidências de que o conceito de incerteza experimental, associado ao intervalo de confiança, é de lenta assimilação para iniciantes em atividades de mensuração[2]. No Instituto de Física da USP estão ocorrendo reformulações didáticas[3] nas disciplinas Física Experimental 1 e 2. Há alguns anos dá-se ênfase a habilidades e atitudes necessárias à adequada obtenção e análise de dados experimentais[4]. Resultados de questionários anteriormente aplicados[4] indicam que os alunos consideram a abordagem válida, porém pouco motivadora. Para complementar estas informações, foi submetido aos estudantes, no segundo semestre de 1998, um conjunto de três questões (respostas anônimas): *1) expresse, com suas palavras, o significado que você associa à incerteza num resultado experimental; 2) na sua opinião, qual o papel da análise de incertezas em um trabalho experimental; e 3) exprima em três palavras as características mais marcantes das disciplinas de Física Experimental 1 e 2.*

### **Resultados**

Foram recolhidos ao todo 106 respostas ao questionário.

#### *Análise correspondente à primeira questão*

Apenas 2 alunos não responderam à primeira questão e um apresentou um impropério (“porcaria nenhuma”). Nos questionários restantes não se identificou respostas iguais, o que é um indicativo da autenticidade das informações. Da ordem de 2/3 das respostas incluem, como ingrediente correto, expressões como: *grau de*

*confiança, flutuação, margem de dúvida, intervalo que se espera...* Sete respostas típicas são apresentadas a seguir (nas respostas estão mantidas a grafia e a pontuação originais):

- “Ela dá o grau de confiança do resultado. Um resultado com grande incerteza não é muito confiável.”
- “A incerteza experimental expressa o intervalo aonde o resultado provavelmente varia.”
- “A incerteza é a garantia que um dado experimental faz algum sentido. Sem sua incerteza o dado pode ser muito enganoso.”
- “A incerteza num resultado experimental mostra a flutuação dos dados experimentais.”
- “A incerteza é tão importante quanto o valor procurado, pois ela concede o limite da segurança que o valor procurado pode assumir.”
- “A incerteza indica o quanto podemos confiar no resultado obtido; quanto maior a incerteza, menor é a confiança no valor. Porém, uma incerteza grande, não indica que o resultado é ruim ou que não pode ser utilizado para outras conclusões, pois a incerteza pode ser um fator que depende de qual grandeza que se (quer) determinar. Algumas grandezas fornecem grandes incertezas, outras fornecem pequenas.”
- “A incerteza é um indicador da precisão imposta ou possível para determinada grandeza, ela transporta para si erros de leitura, precisão de equipamento, capacidade de estimativa do experimentador e por isso é tão importante quanto o próprio resultado experimental.”

No terço restante há respostas que apresentam a idéia, incorreta, de necessidade de comparação com valores esperados ou corretos, e respostas pouco conclusivas. Três exemplos do primeiro tipo e um do segundo são apresentados:

- “A incerteza indica qual a distância do valor obtido para o real e se o range do valor obtido inclui o valor real.”
- “A flutuação entre o valor obtido experimentalmente e o esperado.”
- “A incerteza possui o significado de apresentar o quanto o método de cálculo e experiência são eficientes.”
- “A possibilidade de analisar a precisão e acurácia de uma medida, além de ser um padrão para a observação de erros.”

### *Análise correspondente à segunda questão*

Em 35% das respostas à segunda questão apareceram explicitamente as palavras *importante* ou, mesmo, *fundamental*; em 17% dos casos foi salientado que a análise de incertezas permite *comparações* entre informações. Dez frases representativas estão reproduzidas abaixo:

- “É muito importante, pois estabelece e fornece um limite de confiança nos dados experimentais. Com ela, pode-se fazer comparações ou tomar conclusões sobre o que se está analisando.”
- “Como se observou na prática, qualquer resultado experimental apresenta uma incerteza associada. Dessa forma uma conclusão que se baseia em resultados experimentais deve levar em conta as incertezas, para ver se um resultado é estatisticamente compatível ou não.”
- “A análise das incertezas nos fornece informações à respeito da confiabilidade dos dados. Com isso podemos tirar conclusões relativas aos valores obtidos no trabalho.”
- “O papel é auxiliar o experimentador a compreender os dados obtidos”
- “É importante, pois avalia o resultado obtido. Para procedimentos diferentes de um mesmo resultado mostram incertezas diferentes. Um deles pode ser mais preciso.”
- “Fundamental!”
- “A análise das incertezas possui um papel muito importante em um trabalho experimental pois mostra-nos a precisão obtida e o intervalos de valores “possíveis”. Sem isto o resultado mostra-se inconclusivo.”
- “Indica o nível de confiança das medidas e consequentemente das conclusões tiradas das mesmas.”
- “A incerteza nos permite dizer se determinada correlação é válida ou totalmente fora de questão. Sem a incerteza não podemos afirmar muita coisa sobre o resultado.
- Essencial, pois nada na natureza é 100% correto, a incerteza nos mostra o quão próximo estamos, a medida que a História avança, as incertezas ficam menores e as medidas mais precisas.”
- “A análise de incerteza afigura-se como tópico imprescindível em um trabalho experimental, cujos resultados são expressos numericamente. As asserções acerca dos valores obtidos devem sofrer as restrições so que tange à confiabilidade das medições, o que só é viável através da análise.”

### *Análise correspondente à terceira questão*

Com relação às palavras representativas colhidas na terceira questão, a mais freqüente é *trabalho/trabalhosa*, que foi apresentada 16 vezes em primeiro lugar, mais 4 vezes em segundo e 6 em terceiro lugares. Com freqüência parecida (25 vezes) nota-se o termo *incerteza* (respectivamente, 6 vezes no primeiro lugar; 10 no segundo; 9 no terceiro); a seguir com freqüência aproximadamente metade são verificadas as palavras *interesse/interessante* (14 vezes: 5; 7; 2); *estatística* (11 vezes: 8; 3; 0) e *análise* (11 vezes: 3; 7; 1); finalmente, *síntese* (8 vezes: 2; 2; 4); *relatório* (8

vezes: 3; 1; 4) e *cálculos/calcular* (7 vezes: 2; 4; 1). Qualquer outra palavra foi citada 4 vezes ou menos. Destas, 49 citações ao todo referem-se a noções negativas. Assim, há 4 vezes, cada, *cansativa* e *difíceis/dificuldade*; 3 vezes cada *desestimulante/desinteressante*; *confuso* e mesmo *angustiante/pavor*. Abaixo estão algumas citações, seqüência que foram apresentadas:

trabalhosa	importante	desinteressante
gráficos	análises de dados	síntese
relatório	análise de dados	incertezas
estatística	massante	fundamental
confuso	cálculo	incerteza
observação	análise	interpretação
estatística	instrumentos	relatórios científicos
pavor(cálculos)	incertezas	mostra a realidade (como são as coisas na prática)
útil	interessante	divertida
informação	inspiração	transpiração(em ordem crescente)
estatística	incertezas	tratamento de dados
relatórios	sínteses	curiosidade
suor	regular	estressante
bom senso	análise crítica	metodologia científica
paciência	complacência	saco
incerteza	incerteza	incerteza
observação	organização	auto didática
medir	calcular	analisar
trabalhosa	visualização	companheirismo
pensamento independente (até demais)	critério	cálculo
preparo	familiarização	interesse
instrutiva	realista	trabalhosa
procedimento	discussão	treinamento
interesse	sacrifício	descoberta
interessante	trabalhoso	acochambrado
funciona!!	Suga	Amplia
incerteza(conceito)	incerteza(propagação)	incerteza(estimativa)
trabalho	trabalho	trabalho!!!
estatística	paciência	tempo
interessante	criativa	rígida

### *Manifestações Livres*

No questionário foi ainda aberto um espaço para livre manifestação dos alunos, que foi utilizado por 45 deles, portanto por quase metade dos respondentes, o que demonstra um bom engajamento dos estudantes com a atividade. A solicitação mais freqüente (13 vezes) é um maior entrosamento entre o laboratório e as disciplinas teóricas. De outro lado, e de forma previsível, apareceram reclamações (11 vezes) quanto a falta de tempo e/ou excesso de trabalho e, também, quanto à falta de um caminho pré-estabelecido, pela apostila ou pelo professor (10 das

intervenções). Por fim, como seria também de esperar, há comentários (ao todo 9) sobre a estatística da teoria de incertezas e sua dificuldade. De modo geral, os comentários podem ser considerados antes negativos do que positivos. O questionário foi apresentado antes da execução de uma experiência optativa de fim de semestre[5] e foram verificadas duas críticas duras a esta atividade. Uma destas e uma seleção de outros comentários são apresentados:

- “A 7ª. experiência de FEP114 é besteira. Até agora não fiz quase nenhuma experiência utilizando conceitos conhecidos por mim, pois ainda estou cursando Física I. Se nem o Vuolo conseguiu pensar em algo usando meus conhecimentos, como eu vou fazê-lo? Talvez uma experiência dessas em Fís. Exp. IV fosse mais adequado, pois teríamos mais maturidade.”
- “Acho que as disciplinas seriam melhores se houve uma parte teórica, dedicada ao estudo da teoria de erros. As experiências poderiam ser mais parecidas com os fenômenos estudados nos cursos teóricos. A apostila do curso é falha; não apresenta completamente a experiência a ser realizadas.”
- “As aulas de laboratórios deveriam estimular o aluno a pensar sobre a experiência, mas o que acabou acontecendo foi a burocracia experimental, pois qual a necessidade de medir o diâmetro de uma esfera 100 vezes?. E no 2º semestre ficar pior ainda pois as experiências ocuparam muito o nosso tempo e fomos obrigado a “deixar de lado” laboratório. Seria necessário um reformulação muito ampla de laboratório começando por uma indicação de outros livros, e um aumento no prazo de entrega de síntese e relatórios entre outras coisas.”
- “As aulas de laboratório poderiam ser mais abrangentes, isto é, deveria-se “perder” (ganhar) mais tempo com explicação científica dos fenômenos, explicações como, por exemplo, de onde vêm as fórmulas da Teoria de Erros, (a distribuição de Poisson, por exemplo, que é explicada antes no laboratório e muito mais tarde, nas aulas de cálculo - se é que é explicada nas aulas de cálculo). As aulas de laboratório acabam por ocupar um grande espaço de tempo, com sínteses longas (com cálculos e conclusões que deveriam ser feitas em aula. Algumas explicações são dadas de modos diferentes pelos diversos orientadores, e algumas, importantes, são, às vezes, esquecidas.”
- “Muitas vezes, é muito bom sabermos, aprendermos através das aulas e dos livros (desestimulantes). Porém, a ênfase sobre o fenômeno em si deveria ser a maior preocupação, e não a pressa, com fórmulas “vomitadas” na lousa.”
- “Observação final. Apesar de todos os problemas (muitos criados por nós, alunos inexperientes) o curso é bom!”
- “Talvez, na minha opinião, tenha faltado um pouco de **teoria** por trás das ferramentas estatísticas que utilizamos durante o curso, ou seja, deveríamos aprender mais porque essas ferramentas funcionam do jeito que as utilizamos.”
- “O curso é dado de tal maneira que não nos faz sentir gosto pela física experimental (embora maravilhosa). O tempo para a realização das experiências não é suficiente para que nós (alunos) possamos analisar todos os aspectos possíveis.”
- “Por outro lado, a equipe de professores é muito boa, dando sempre a atenção necessária aos alunos. (toda regra tem sua exceção)”
- “Gostaria que as disciplinas experimentais fossem mais integradas à disciplina teórica oferecida. Assim, poderíamos avaliar na prática aquilo provado e estudado nas disciplinas teóricas, percebendo, também, as limitações dos modelos teóricos. Essa última parte já é feita no laboratório, porém, a

inexistência de um modelo teórico sólido dado em aula, pode atrapalhar não só a compreensão do experimento como limitar a análise dos dados.”

- “A interação entre a prática e a teoria poderiam tomar o exercício de ambas mais interessante.”
- “O curso, de maneira geral, não me agrada, tendo em vista que grande parte do trabalho se assemelha a “mandar o meu cachorro buscar o jornal”. Pois ele, como todos, não sabe o que faz, apenas faz, e tem uma recompensa ao final. Não é preciso pensar, e sim seguir a apostila.”
- “Acho que seria mais conveniente que as disciplinas de Física Experimental I e II se chamassem Estatística em física experimental I e II.”
- “A aula de física experimental, pelo que pude observar, reisa o ensino da estatística, e que a grande dificuldade da disciplina é a estatística.”
- “Quando soube que iria ter aula de física exp. Achei que o curso iria enfatizar conceitos físicos.
- “Agora eu sei o quão importante que a estatística é, mas se no início do curso, os profs. tivessem avisado os alunos evitariam as dificuldades que eu encontrei no decorrer do curso.”
- “O curso foi muito bem dado pelo prof<sup>o</sup> Paulo Pascholati, que estimulou os alunos e despertou seu interesse nas experiências, sabendo salientar sua importância macro.”
- “Acho que as apostilas poderiam ser menos obscuras. Embora a intenção seja encorajar pensamento independente, as apostilas poderiam ser bem mais claras sem prejuízo para os objetivos das disciplinas.”
- “Seria muito interessante se fosse possível utilizar o laboratório fora do horário de aula, para que possamos ter mais contato com os materiais, sem sermos pressionados pelo tempo.”
- “Um comentário amiúde lembrado pelos estudantes do bacharelado é que o nível das experiências dos cursos de Lab. Transcendem muito a base de conhecimento - físico matemático - dos alunos.”
- “As experiências (os procedimentos) deveriam ser mais claros, tipo receita de bolo, o aluno deveria ser estimulado p/ entender a interferência que as incertezas (instrumental e de medidas) acarretam no resultado final, e não se apavorar em entender o que fazer toda vez que vai p/ o laboratório, pois é o comentário geral de todos os alunos, inclusive p/ mim que tenho dificuldade (como a maioria) de captar o que é que é certo fazer p/ não tirar nota baixa em 4 horas de aula semanal.”
- “Construtivismo é uma droga.”

## Conclusões

Fica evidente pelos resultados do presente questionário que há possibilidade de convencer estudantes ingressantes em cursos de Bacharelado de Física (e afins) da importância, utilidade e/ou necessidade de se apresentarem resultados experimentais acompanhados de seus intervalos de incerteza. Entretanto, no caso do presente estudo, isto é obtido às custas de trabalho considerado excessivo por fração considerável dos estudantes. As atividades também foram julgadas como pouco motivadoras por parte dos alunos. Analisando o conteúdo das palavras-chave que caracterizam as disciplinas segundo os estudantes, se for incluído o conceito *trabalhoso*, há 29% do total com julgamentos negativos sobre as disciplinas, sendo estes menos numerosos no noturno (23%), o que pode ser associado a um maior amadurecimento destes alunos. Entretanto há, conforme pode ser observado pelas citações apresentadas, também uma quantidade considerável de conceitos positivos, encabeçados pelo termo *interessante*. No conjunto de 106 questionários respondidos há ainda 13 intervenções explícitas (12%) a favor de um maior entrosamento entre teoria e experiência.

As informações colhidas serão levadas em consideração no replanejamento das atividades das disciplinas para 1999.

## Referência

- [1] C F Dietrich, *Uncertainty, Calibration and Probability: The Statistics of Scientific and Industrial Measurement*, 2ª. edição, Adam Hilger, Bristol, 1991
- [2] R Journeaux e M G Séré, *Traitement statistique des incertitudes en physique: problèmes scientifiques et didactiques*, Eur J Phys 15;286-292(1994)
- [3] L B Horodyski-Matsushigue, P R Pascholati, J H Vuolo, M -L Yoneama, J F Dias, P T D Siqueira e M Amaku, *Uma Proposta para o Laboratório Didático de Física de 3º Grau: Física Experimental I e II do IFUSP*, XIII Simpósio Nacional de Ensino de Física - Novos Horizontes, 27 a 31-1-1997, Belo Horizonte, in anais pág. 100.
- [4] L B Horodyski-Matsushigue, P R Pascholati, M Moralles, M -L Yoneama, J F Dias, W A Seale e P T D Siqueira, *Os Objetivos do Laboratório Didático na Visão de Alunos Ingressantes no Bacharelado em Física do IFUSP e de seus Professores*, Rev Bras Ens Fís 19(2);287-297(1997)
- [5] L B Horodyski-Matsushigue, E M Yoshimura, E .W Cybulska, N H Medina e P R Pascholati, Um Experimento Optativo como Avaliação de Aprendizagem em um

Curso Introdutório de Laboratório de Física, contribuição apresentado neste Simpósio.