

AValiação de Incertezas de Medidas Experimentais pelos Alunos da Disciplina de Física Experimental I e II

*Paulo R. Pascholati [pascholati@if.usp.br]
Natacha A. Enoki [natacha.enoki@usp.br]

Instituto de Física da Universidade de São Paulo

RESUMO

Esta contribuição descreve parte do projeto Avaliação de Incertezas de Medidas Experimentais pelos Alunos da Disciplina de Física Experimental I e II. As disciplinas de Física Experimental I e II do Instituto de Física da Universidade de São Paulo fazem parte da grade dos alunos dos cursos de bacharelado em Física, em Astronomia, em Geofísica e em Meteorologia. A abordagem metodológica adotada é de averiguar o desempenho dos alunos nas provas aplicadas ao final de cada semestre. A finalidade do projeto é de verificar o conhecimento dos alunos sobre propagação de incerteza das grandezas experimentais medidas, a adequação das incertezas instrumentais, o conceito envolvido na determinação de compatibilidade de materiais, assim como noções básicas de estatística, no que diz respeito ao cálculo de valor médio e desvio padrão. Questões específicas foram selecionadas na prova final da disciplina de Física Experimental I dos anos de 2009 e 2010. Os resultados foram analisados com o auxílio de gráficos ternários. Nos gráficos ternários do ano de 2009 os itens avaliados se concentram na região de acertos maiores que 40% para o período diurno e maiores que 60% para o período noturno. Foram analisadas 175 provas do ano de 2010. Nos gráficos do ano de 2010 os itens avaliados se concentram na região de acertos maiores que 50% para o período diurno e maiores que 60% para o período noturno. Foram analisadas 161 provas deste ano. O conceito de adequação de incerteza possui acertos inferiores a 30% em ambos os períodos. Pôde-se concluir que os alunos do período noturno apresentam melhor desempenho do que aqueles do período diurno. Os alunos apresentam maior dificuldade em discutir se um determinado instrumento de medida possui incerteza instrumental adequada se levado em conta o objetivo da medição e a incerteza dos outros aparelhos utilizados.

INTRODUÇÃO

Estimar incertezas em medições é um assunto que tem despertado o interesse em muitas áreas do conhecimento tendo o Escritório Internacional de Pesos e Medidas (Bureau International de Poids et Mesures – BIPM) juntamente com outras organizações internacionais editado o Guia para a Expressão da Incerteza de Medição[1]. Esse interesse tem induzido a necessidade de que os programas das disciplinas introdutórias dos cursos de bacharelado dediquem especial atenção a esse tema e a edição de livros tratando do assunto [2,3]. No Instituto de Física da Universidade de São Paulo – IFUSP as disciplinas de laboratório do primeiro ano já incorporaram em seus programas esse conteúdo a mais de uma década[4].

Esta contribuição descreve parte do projeto *Avaliação de Incertezas de Medidas Experimentais pelos Alunos da Disciplina de Física Experimental I e II* do Programa Ensinar com Pesquisa da Pró-Reitoria de Graduação da Universidade de São Paulo. As disciplinas de Física Experimental I e II do Instituto de Física da Universidade de São Paulo - IFUSP fazem parte da grade dos alunos de primeiro semestre dos cursos de bacharelado em Física e em Astronomia, e do terceiro semestre dos cursos de bacharelado em Geofísica e em Meteorologia, esses três últimos do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – IAGUSP. A abordagem metodológica adotada, inspirada em parte em Baldizan, McMullin and Asce [5] é de averiguar o desempenho dos alunos nas provas aplicadas ao final de cada semestre. O método para fazer a avaliação consiste em analisar as respostas a questões selecionadas nas provas finais dos alunos matriculados na disciplina Física Experimental I (FEP113) nos anos de 2009 e 2010. A maioria desses alunos raramente teve contato com laboratórios de física no ensino médio. Sendo assim, os alunos não possuem familiaridade com os métodos experimentais e equipamentos. Também há uma grande dificuldade de interpretar fisicamente os dados obtidos. Uma hipótese que pode descrever essa dificuldade é a falta de maturidade intelectual em um contexto universitário. No trabalho experimental em Física

são utilizados modelos que não são um retrato exato da natureza, mas uma simplificação dela. Ao tratar com modelos experimentais, não é possível utilizar os mesmos critérios dos aspectos físicos do dia-a-dia [6]. Em geral, tais concepções foram construídas e definidas fora do âmbito da ciência e carregam a conceituação do senso comum. A disciplina FEP113 proporciona justamente a mudança do entendimento de fenômenos físicos que são de senso comum para a mentalidade de um jovem pesquisador que necessita voltar-se à observação e ao questionamento. O objetivo da disciplina é introduzir o aluno na “arte da experimentação” e treiná-lo para explorar informações contidas nos dados experimentais primários [7]. Neste trabalho realizamos um levantamento das respostas dos alunos com a intenção de avaliar o aprendizado de conceitos relacionados à incerteza de grandezas físicas que são imprescindíveis para desenvolver análises dos resultados experimentais obtidos. O resultado do trabalho será colocado à disposição dos professores que ministram aulas à disciplina de Física Experimental I, podendo assim melhorar o planejamento da abordagem dos conteúdos nos quais os alunos apresentaram maior dificuldade.

MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente escolheram-se questões das provas de 2009 e 2010 que continham tópicos relacionados direta ou indiretamente ao conceito de incerteza de medições. No método usado as respostas dos alunos foram caracterizadas como certa, errada ou deixada em branco cujos valores registrados correspondiam a 1, -1 ou 0, respectivamente. No ano de 2009 as questões selecionadas avaliavam a habilidade de calcular matematicamente o valor de uma grandeza física, o conhecimento sobre a propagação de incerteza de grandeza em função de variáveis independentes e a verificação de que duas grandezas físicas são estatisticamente compatíveis. Na questão da prova do período diurno, as grandezas calculadas eram a massa de uma esfera, momento de inércia de esfera maciça e de esfera oca. As incertezas finais de cada grandeza deveriam ser obtidas a partir das incertezas instrumentais fornecidas no enunciado na questão. Naquela do período noturno a mesma avaliação de conteúdo foi feita em uma estrutura um pouco diferente. As grandezas a serem calculadas eram o momento de inércia de um cilindro oco e de um cilindro maciço, o raio interno do cilindro oco e também as incertezas finais. Foi também solicitada a verificação de compatibilidade entre os resultados obtidos para o momento de inércia dos cilindros. A Tabela 1 exemplifica como os dados foram tabulados nas provas de 2009. Neste ano o levantamento foi realizado com 175 provas. No ano de 2010, as questões eleitas estavam relacionadas aos conceitos de valor médio e desvio padrão em dados de medições com erros sistemáticos, incertezas instrumentais, além da habilidade de calcular matematicamente as grandezas, determinar a incerteza por propagação e verificar compatibilidade, tanto na prova aplicada aos alunos do período diurno como do período noturno. É importante ressaltar que na identificação de incerteza instrumental os alunos foram questionados sobre a viabilidade de se adquirir instrumento que medisse comprimento com maior precisão sendo que a incerteza das medidas de massa cobriria a incerteza das medidas de comprimento no cálculo da densidade dos objetos analisados. A Tabela 2 mostra como os dados foram armazenados no ano de 2010. Neste ano, 161 provas foram objeto do levantamento. A análise foi realizada utilizando gráfico ternário e as informações obtidas serão discutidas mais adiante. No gráfico ternário cada ponto corresponde ao valor percentual de três variáveis (acerto, erro e branco). No ano de 2010 foi realizado um levantamento dos erros mais comuns no cálculo de propagação de incertezas e quais são os métodos de compatibilidade mais usados.

Tabela 1. Parte da planilha com os dados coletados das provas do diurno do ano de 2009. Os valores significam: 1 resposta certa, -1 resposta incorreta e 0 resposta deixada em branco. Está incluído o número USP dos alunos, digitado nnnnnnn para garantir o anonimato, para poder permitir a comparação entre os resultados obtidos por eles na disciplina Física Experimental I e Física Experimental II na sequência do projeto.

Número USP	nnnnnnn	nnnnnnn	nnnnnnn	nnnnnnn	nnnnnnn
Cálculo de grandeza física	1	1	1	1	1
Propagação de incerteza	1	-1	0	1	-1
Cálculo de grandeza física	1	1	1	1	1
Propagação de incerteza	0	-1	0	-1	-1
Cálculo de grandeza física	1	1	-1	0	1
Propagação de incerteza	-1	0	-1	0	-1
Compatibilidade de materiais	-1	0	-1	0	0

Tabela 2. Parte da planilha com os dados coletados das provas do diurno do ano de 2010. Os valores significam: 1 resposta certa, -1 resposta incorreta, e 0 resposta deixada em branco.

Número USP	nnnnnnn	nnnnnnn	nnnnnnn	nnnnnnn	nnnnnnn
Conceito de média	1	-1	1	0	0
Conceito de desvio padrão	1	1	1	0	1
Incerteza instrumental	1	1	1	-1	1
Adequação da incerteza	1	-1	-1	-1	-1
Cálculo de grandeza física	0	-1	1	1	1
Propagação de incerteza	0	1	1	-1	1
Compatibilidade de materiais	0	1	1	1	1

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em todos os quesitos avaliados nas provas dos alunos do período diurno do ano de 2009, os acertos são maiores que 37%, os erros são menores que 50% e as respostas deixadas em branco são inferiores a 25% como mostra o polígono delimitado pelos segmentos pontilhados e os eixos no gráfico da Figura 1. No gráfico do período diurno há três pontos para propagação de incerteza por causa do formato da questão escolhida. Essa questão possuía mais itens do que aquela do período noturno.

Em média 88% calcularam corretamente as grandezas, 5% cometeu erros de conta fornecendo a resposta incorreta¹, e 7% deixou este item em branco. Na obtenção da incerteza pelo método de propagação em média 44% dos alunos acertou as respostas, 40% errou e 16% deixou em branco². Na parte de compatibilidade 57% dos estudantes acertou a resposta, 23% errou e 20% não respondeu. Ainda para o ano de 2009, nas provas do período noturno, os itens considerados estão na região delimitada pelos segmentos pontilhados e os eixos no gráfico da Figura 2 de acertos maiores que 50%, erros menores que 25% e brancos menores que 30%.

¹ Neste caso, a resposta errada deve-se unicamente a erros de cálculo, pois as fórmulas para calcular as grandezas eram fornecidas no enunciado da questão.

² Para as provas de 2009 não foi possível realizar um levantamento dos motivos pelos quais os alunos erraram o método de propagação de incertezas, pois os formatos das provas do diurno e noturno eram muito diferentes.

- Cálculo de grandeza
- Propagação de Incerteza
- Compatibilidade

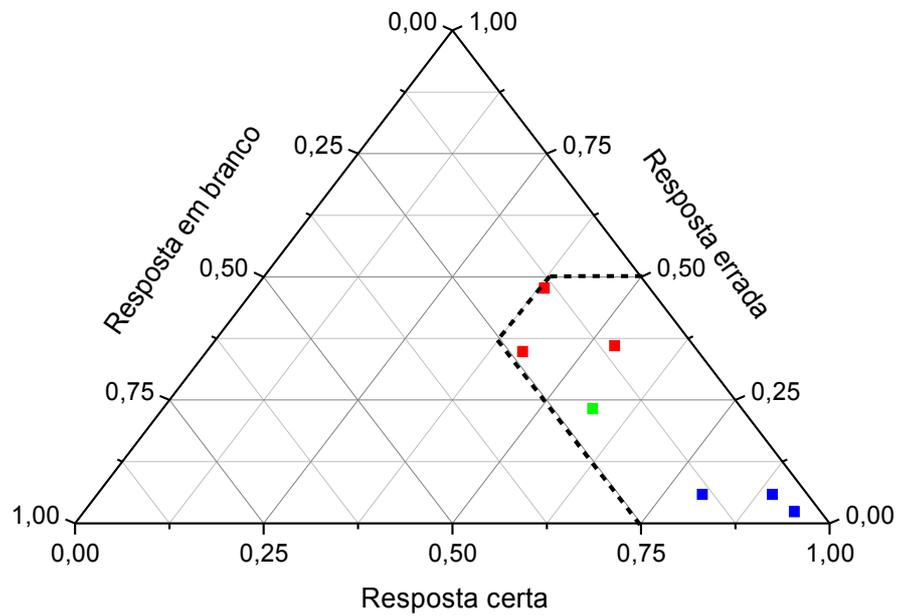


Figura 1- Resultados percentuais dos acertos, erros e em branco das respostas dos alunos do período diurno do ano de 2009.

- Cálculo da Grandeza
- Propagação de Incerteza
- Teste de compatibilidade

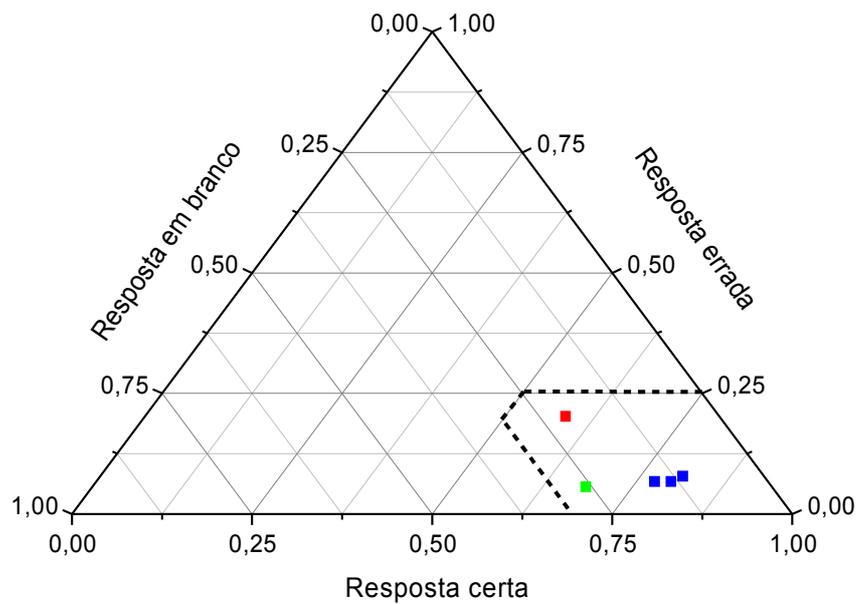


Figura 2 - Resultados percentuais dos acertos, erros e em branco das respostas dos alunos do período noturno do ano de 2009.

Em média a abordagem metodológica adotada, inspirada em parte em Baldizan, McMullin and Asce, é de averiguar o desempenho dos alunos nas provas aplicadas ao final de cada semestre. 80% dos alunos forneceu os valores corretos das grandezas, 6% errou o cálculo e 14% optou por não responder. No que diz respeito à determinação da incerteza final 59% deles forneceu a resposta certa, 20% a errada e 21% deixou em branco. Para o teste de compatibilidade 68% chegou à conclusão correta, 6% a errada e 26% não fez a compatibilidade. Ao analisar os dois gráficos das Figuras 1 e 2 observa-se que nos cálculos das grandezas físicas a turma do período diurno teve melhor desempenho. Entretanto, pode-se notar claramente que os estudantes do período noturno obtiveram mais acertos no método de propagação de incerteza e na distinção de grandezas por compatibilidade. Nas provas do ano de 2010 dos alunos do período diurno os fatores avaliados estão na região de acertos maiores que 50%, erros menores que 37% e respostas nulas menores que 25% como a região delimitada pelos segmentos pontilhados e os eixos no gráfico da Figura 3. A exceção apresenta-se no item que questionava a viabilidade de adquirir instrumento mais preciso considerando a incerteza instrumental dos outros equipamentos usados. Este item que corresponde ao ponto no gráfico denominado Adequação de Incerteza (rosa) mostra que 55% das respostas dadas estava errada, 17% em branco e apenas 29% apresentou a discussão correta.

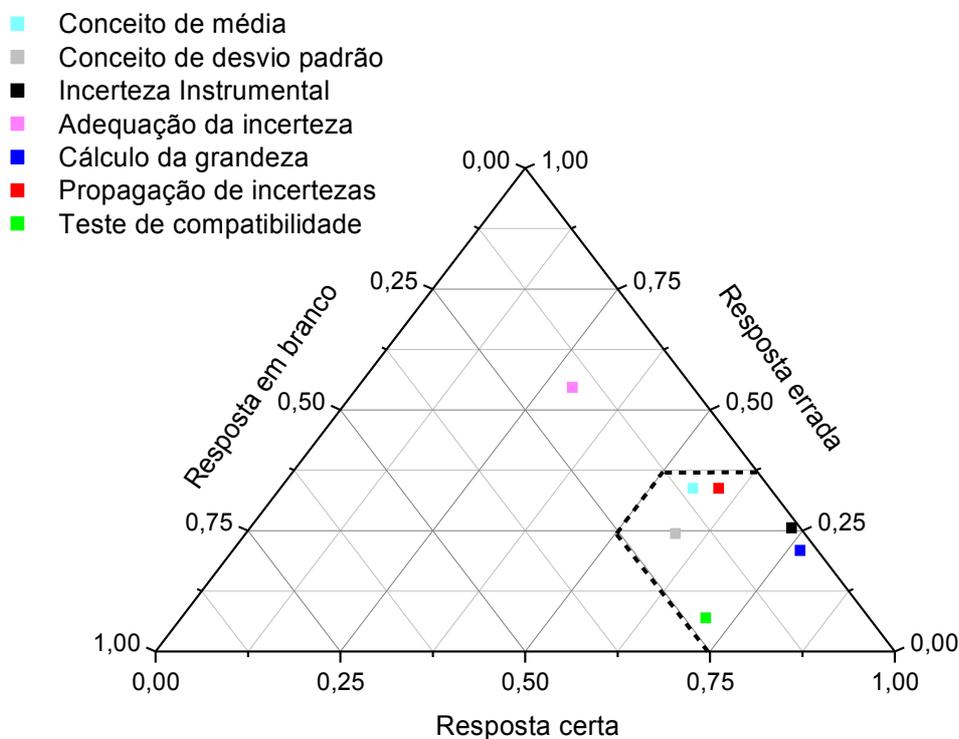


Figura 3- Resultados percentuais dos acertos, erros e em branco das respostas dos alunos do período diurno do ano de 2010.

Em relação aos resultados percentuais dos acertos, erros e em branco das respostas dos alunos do período diurno, Figura 3, 56% dos alunos chegou à relação certa entre a média dos dados sem erros sistemáticos e a média de dados com erros sistemáticos: 34% errou e 10% deixou em branco. Para o desvio padrão dos mesmos dados: 58 % dos alunos acertou, 25% errou e 18% não respondeu. Ao identificar um instrumento de medida por meio da incerteza instrumental: 73% o fez corretamente, 26% incorretamente e 1% deixou em branco. No cálculo das grandezas físicas 77% dos alunos foi bem sucedido, 21% não forneceu o valor correto³ e 2% não calculou. Na obtenção da incerteza pelo método de propagação 59% acertou, 34% errou e 7% não o fez. Para determinar se os objetos

³ Neste caso, o cálculo da grandeza física exigia que o aluno conhecesse a relação entre densidade, massa e volume (de uma esfera) porque a fórmula não era fornecida no enunciado.

analisados eram confeccionados de mesmo material os alunos compararam os valores de densidade obtidos nos itens anteriores: 71% chegou à conclusão correta, 7% à conclusão errada e 22% não discutiu a compatibilidade. Com estas informações é possível perceber que a maior dificuldade da turma do período diurno do ano de 2010 foi a de discutir a Adequação de Incerteza. Se compararmos a Figura 1 com a Figura 3 observa-se que os alunos do diurno de 2010 cometeram mais erros nos cálculos das grandezas, mas acertaram mais a propagação e a compatibilidade do que os alunos do mesmo período do ano de 2009. No ano de 2010 a turma do período noturno a maior parte dos itens avaliados se concentram na região de acertos maiores que 60%, erros menores que 35% e respostas nulas menores que 30% como mostra a região delimitada pelos segmentos pontilhados e os eixos do gráfico na figura 4. A exceção também se encontra no item de Adequação de Incerteza. Neste item, 60% das respostas estava erradas, 3% estava em branco e apenas 37% apresentava a discussão correta. Nota-se que a turma do noturno obteve maior quantidade de acertos do que a turma do diurno na avaliação desse conceito. No conceito de média de dados com erro sistemático 80% dos alunos da noite acertou a relação, 17% errou e 3% não respondeu. Para o desvio padrão dos mesmos dados 69% dos alunos forneceu a relação certa, 20% a errada e 11% deixou em branco. Ao reconhecer o equipamento de medida por meio da incerteza instrumental 70% o fez corretamente, 29% incorretamente e 1% optou por não responder. No cálculo matemático das grandezas físicas 93% apresentou a resposta certa, 4% a resposta errada e 3% não calculou. Para a obtenção das incertezas 61% chegou à incerteza final correta, 27% a errada e 12% não fez o método de propagação. Em relação à compatibilidade de materiais, 76% dos alunos desse período chegou à conclusão certa, 5% a conclusão errada e 19% não comparou os materiais. Estes valores estão apresentados na Figura 4.

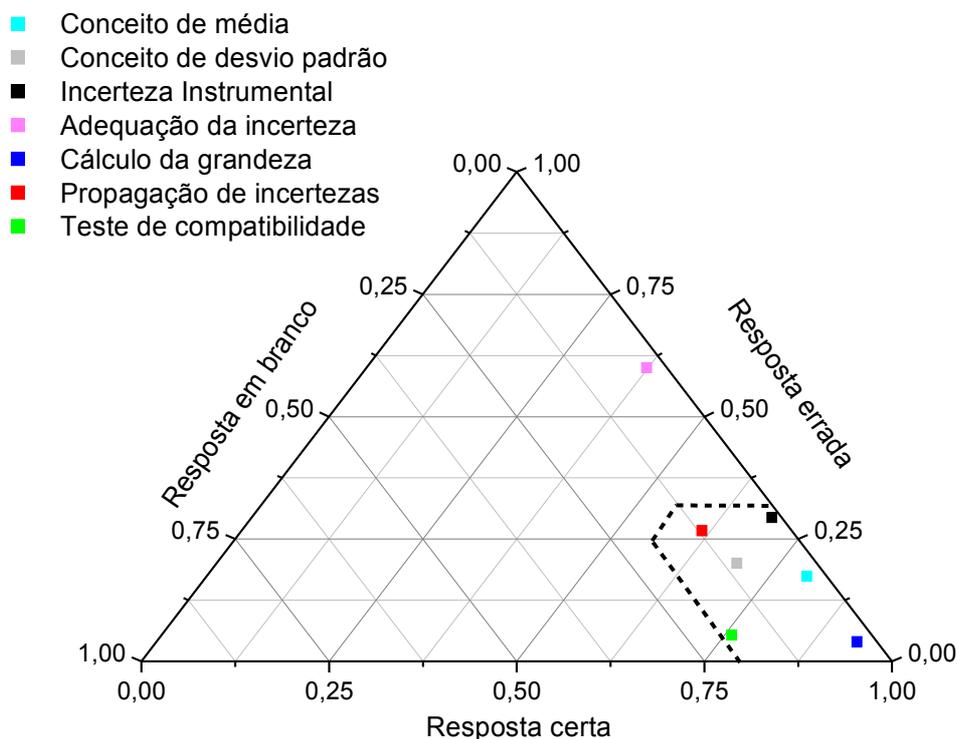


Figura 4- Resultados percentuais dos acertos, erros e em branco das respostas dos alunos do período noturno do ano de 2010.

Comparando os gráficos da Figura 2 e Figura 4, nota-se que no ano de 2010 houve mais acertos no cálculo da grandeza, no teste de compatibilidade e no método de propagação por derivadas parciais

do que no ano de 2009. Ao relacionar as figuras 3 e 4 observa-se que o desempenho dos alunos do período noturno superou o desempenho dos alunos que estudam no período diurno. Esta informação é oposta aquela obtida em trabalho anterior [8]. Nas provas de 2010 foi possível constatar quais os erros mais comuns na propagação de incerteza e quais são os métodos de compatibilidade mais usados. Das 161 provas, 49 continham respostas erradas de incerteza das quais: 51% era devido a erro de conta, 21% a erro de derivada e 28% erros conceituais na combinação por quadratura dos termos independentes. Além disso, dos 161 alunos, 118 responderam corretamente a compatibilidade das grandezas estudadas das quais 20% realizaram o “teste Z”⁴, 9% utilizou o conceito de intervalo em barras de erro⁵ e 71% não usou métodos para justificar a resposta apenas registraram que os valores das grandezas eram muito diferentes e as incertezas consideradas pequenas. Nesta situação não se pode interpretar se o aluno compreendeu ou não o conceito de compatibilidade entre dados.

CONCLUSÕES

No ano de 2009 os alunos encontram mais dificuldades em determinar a incerteza final pelo método das derivadas parciais. Neste ano os estudantes da noite tiveram melhor desempenho ao propagar as incertezas e ao determinar a compatibilidade, mas no cálculo das grandezas a turma do diurno obteve maior porcentagem de acerto. No ano de 2010 os alunos do noturno tiveram melhor desempenho que os alunos do diurno em todos os quesitos avaliados. Esse resultado é satisfatório, pois mostra que, apesar dos alunos do noturno em geral terem menos tempo para se dedicarem aos estudos e possuírem mais lacunas de aprendizado no ensino médio [5], as abordagens de ensino dos professores e os procedimentos realizados em laboratório são altamente adequados para auxiliá-los no desenvolvimento de seus conhecimentos. Ao realizar a contagem dos erros mais comuns para a propagação de incertezas nota-se que a maior parcela dos alunos cometeu erros de cálculo (51%). Entretanto, a parcela referente ao erro conceitual de propagação de incerteza é de 28% e deve ser melhorada para que tais alunos não cometam o mesmo equívoco ao longo do curso por não terem compreendido esse assunto que só é abordado em Física Experimental I. O ótimo desempenho dos alunos de 2010 para determinação de compatibilidade entre grandezas é aceitável, porém deve-se exigir que o aluno justifique sua resposta utilizando os métodos ensinados em laboratório. Só assim será possível certificar-se que os alunos entenderam os conceitos associados à compatibilidade de dados. Acreditamos que as dificuldades dos alunos nos tópicos apresentados devem a uma concepção inadequada de como deva ser o aprendizado no laboratório didático. Os resultados obtidos neste trabalho mostram que os professores devem enfatizar a explicação de que se a incerteza instrumental de um aparelho é muito inferior às incertezas instrumentais dos demais, então não há necessidade de que o primeiro instrumento seja mais preciso, pois a alteração na incerteza final não será significativa. No futuro, pretende-se estender essa análise para todas as questões das provas de FEP113 e FEP114 e tratar individualmente os bacharelados. Os resultados deste trabalho poderão aprimorar os métodos de ensino dos conceitos ligados a incerteza nos próximos anos.

⁴ Se o módulo da diferença entre os valores das grandezas avaliadas dividido pela quadratura das incertezas finais for maior que 3 então a probabilidade de que os valores não sejam compatíveis é de 99% [7].

⁵ Caso exista intersecção de duas barras desenhadas entre o valor das grandezas mais três incertezas finais e o valor das grandezas menos três incertezas finais então as grandezas são compatíveis.

REFERÊNCIAS

- [1] BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP E OIML, **Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement** – GUM, Organization for Standardization, Genebra, 1993, traduzido para o português como: **Guia para Expressão da Incerteza de Medição**, edição revisada, ABNT – INMETRO – SBM, 1998.
- [2] VUOLO, José Henrique, **Fundamentos da Teoria de Erros**, Editora Edgard Blücher, São Paulo, 1996.
- [3] KIRKUP, Les e FRENKEL, Bob, **An Introduction to Uncertainty in Measurement using GUM**, Cambridge University Press, Cambridge, 2006.
- [4] VUOLO, José Henrique, **Física Experimental I**, apostila, Instituto de Física da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.
- [5] BALDIZAN, Maria Elena, McMULLIN, Kurt M., ASCE, M. Evaluation of Student Learning for an Engineering Graphics Course, **Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice**, Reston, 131, 3, 192-198, July 2006.
- [6] MARINELLI, Fábio, PACA, Jesuína Lopes de Almeida, Uma interpretação para dificuldades enfrentadas pelos estudantes em um laboratório didático de física, **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, 28, 4, 497-505, 2006.
- [7] Paulo R. Pascholati, **Física Experimental I**, apostila da disciplina, Instituto de Física da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- [8] PASCHOLATI, Paulo R. e MARTINS, Josiane V., Avaliação do Aprendizado do Conteúdo da Disciplina de Física Experimental I e II, **Anais do XVIII Simpósio Nacional do Ensino de Física 2009**, Resumo em <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xviii/sys/resumos/T0747-1.pdf>, consultado em 10/08/2010.