



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

MARCIO JOSÉ ALVES

**O PROBLEMA DA INCERTEZA NA MEDIDA NO ENSINO
MÉDIO:
UMA PROPOSTA PARA O ENSINO**

Londrina
2016

MARCIO JOSÉ ALVES

O PROBLEMA DA INCERTEZA NA MEDIDA NO ENSINO

MÉDIO:

UMA PROPOSTA PARA O ENSINO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissionalizante em Ensino de Física do Departamento de Física da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Laburú.

Londrina
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Alves, Marcio José .

O problema da incerteza na medida no ensino médio: : uma proposta para o ensino / Marcio José Alves. - Londrina, 2016.
114 f. : il.

Orientador: Carlos Eduardo Laburú.

Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2016.

Inclui bibliografia.

1. Aprendizagem Significativa - Tese. 2. Ensino de Física - Tese. 3. Medição - Tese. I. Laburú, Carlos Eduardo . II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. III. Título.

MARCIO JOSÉ ALVES

**O PROBLEMA DA INCERTEZA NA MEDIDA NO ENSINO MÉDIO:
UMA PROPOSTA PARA O ENSINO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissionalizante em Ensino de Física do Departamento de Física, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Américo Tsuneo Fujii
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Dari de Oliveira Toginho Filho
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Paulo Sérgio de Camargo Filho
Universidade Tecnológica Federal do Paraná -
UTFPR

Londrina, 08 de abril de 2016.

Dedico esse trabalho primeiramente a Deus autor e consumidor da vida.

A minha família, que eu amo muito, minha avó Carmelita, minha mãe Elza, minha esposa Elisângela e toda sua família, meu irmão Marcos, minhas irmãs Ana e Anália, meus cunhados(as), meus sobrinhos(as), meus tios (as), primos(as).

In memoriam de meu querido pai José Carlos Alves, “o *Corintiano*”, que deve estar feliz com as conquistas de todos os seus filhos.

A todos os professores do estado do Paraná, que continuam nos ensinando dentro e fora do seu local de trabalho como é ser cidadão e exercer a sua cidadania.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois se não fosse de Sua Vontade nada disso seria possível!

Ao professor Carlos Eduardo Laburú, orientador deste trabalho, por me escolher, me indicar o caminho, pela cobrança e paciência em esperar o resultado.

A minha família e amigos(as) que ajudaram, oraram, torceram por mim e aceitaram minha ausência com paciência.

A todos os meus professores que pavimentaram uma estrada segura, na qual posso caminhar em busca do conhecimento.

A todos os funcionários do Colégio Estadual Professora Adélia Dionísia Barbosa, em especial a professora Rosymari, que me apoiou, contribuiu com sua experiência e me deu dicas valiosas durante o estágio supervisionado. Por último, mas não menos importante, a todos os alunos que participaram deste estudo.

Deus abençoe a todos!

“Comece fazendo o que é necessário, depois o que é possível, e de repente você estará fazendo o impossível.”

São Francisco de Assis

“Insanidade é continuar fazendo sempre a mesma coisa e esperar resultados diferentes.”

Albert Einstein

ALVES, Marcio José. **O Problema da Incerteza na Medida no Ensino Médio**: uma proposta para o ensino. 2016. 112 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissionalizante em Ensino de Física – Polo UEL) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

RESUMO

O presente estudo aborda “o problema da incerteza na medida no ensino médio” e propõe uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativo (UEPS) acerca do assunto. O objetivo desta proposta pedagógica é introduzir conceitos relativos às incertezas inerentes ao processo de medição, conhecimento visto como essencial para uma melhor compreensão dos experimentos quantitativos, e por consequência dos conceitos físicos. Participaram desse estudo alunos de Física do 1º ano do ensino médio do Colégio Estadual Professora Adélia Dionísia Barbosa, lotado no município de Londrina, no estado do Paraná. As principais constatações deste trabalho são: (i) é possível introduzir conceitos relativos às incertezas inerentes ao processo de medição, no ensino básico; (ii) as UEPS e a experimentação, alicerçadas por investigações da Educação Científica, que também abarcam o ensino de Física, podem contribuir para a aprendizagem significativa dos conceitos físicos e para a motivação dos alunos nas aulas de física do ensino médio.

Palavras chaves: Aprendizagem Significativa. UEPS. Ensino de Física. Experimentação. Medição.

ALVES, Marcio José. **The Measurement Uncertainty Problem in High School**: a proposal for teaching. 2016. 112 p. Master's Dissertation (Master's National professional in Teaching of Physics – Pole UEL) - University State of Londrina, Londrina, 2016.

ABSTRACT

This present study approach “the problem of uncertainty in the measure of the high school” and propose a Potentially Meaningful Teaching Unit (PMTU) about the matter. The objective of this pedagogical proposal is to introduce concept related to the uncertainties inherent to the measurement processes, knowledge considered essential for a better understanding of the quantitative experiments. Participants of this study were Physics students from the 1st year of high school at the Adélia Dionísia Barbosa State School, in Londrina, Paraná State. The main findings of this study are: (i) it is possible to introduce concepts related to the uncertainties inherent in the measurement process in basic education; (ii) the PMTU and the experimentation, based on scientific education research, which also includes physics teaching, can contribute to the meaningful learning of the physical concepts and to the motivation of students in high school physics classes.

Keywords: Meaningful Learning. PMTU. Physics Teaching. Experimentation. Measurement.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1	APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA	12
2.2	EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA	16
2.3	MULTIMODOS E MÚLTIPLAS REPRESENTAÇÕES	19
2.4	O PROBLEMA DA INCERTEZA NA MEDIDA NO ENSINO DE FÍSICA	21
2.4.1	Investigações Científicas Sobre Medições	23
2.4.2	Conceitos Básicos Sobre Medidas, Medição e Incertezas	26
3	METODOLOGIA DA PESQUISA	36
3.1	PROBLEMAS DA PESQUISA	36
3.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	37
3.3	DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DA UEPS	37
3.3.1	Etapa de Planejamento	38
3.3.2	Etapa Inicial ou de Verificação de Conhecimento Prévio	40
3.3.3	Etapa Etapa Introdutória	41
3.3.4	Etapa de Desenvolvimento	41
3.3.5	Etapa de Avaliação da Aprendizagem	43
3.3.6	Etapa de avaliação da UEPS	44
4	RESULTADOS DA UEPS	45
4.1	ETAPA INICIAL OU DE VERIFICAÇÃO DE CONHECIMENTO PRÉVIO	45
4.2	ETAPA INTRODUTÓRIA	48
4.3	ETAPA DE DESENVOLVIMENTO	49
4.4	ETAPA DE AVALIAÇÃO NA APRENDIZAGEM	53
4.5	ETAPA DE AVALIAÇÃO DA UEPS	53
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
	REFERÊNCIAS	58
	APÊNDICES	63

APÊNDICE A –	PLANO DE TRABALHO DA UEPS APLICADA NO 1° A.....	64
APÊNDICE B –	REGISTRO DA APLICAÇÃO DA UEPS NO 1° A.....	74
APÊNDICE C –	QUESTIONÁRIO I.....	80
APÊNDICE D –	PRÁTICA I	82
APÊNDICE E –	TEXTO 1: “O QUE É MEDIDA?”	84
APÊNDICE F –	SIMULADO SOBRE MEDIDAS	89
APÊNDICE G –	PROVA TEÓRICA.....	91
APÊNDICE H –	TEXTO 2: “COMO OBTER MEDIDAS CONFIÁVEIS?”.....	92
APÊNDICE I –	QUESTIONÁRIO III.....	94
APÊNDICE J –	PROVA PRÁTICA.....	95
ANEXOS	96
ANEXO A –	DADOS DO QUESTIONÁRIO I DO ALUNO A1	97
ANEXO B –	DADOS DA PRÁTICA I DO ALUNO A1	99
ANEXO C –	REDAÇÕES SOBRE O DOCUMENTÁRIO “PRECISÃO A MEDIDA DE TODAS AS COISAS – ESPAÇO E TEMPO” DOS ALUNOS A2, A3, A4 E A5	100
ANEXO D –	DADOS DO QUESTIONÁRIO II DO ALUNO A6	105
ANEXO E –	DADOS DA PROVA TEÓRICA DO ALUNO A1	107
ANEXO F –	DADOS DO QUESTIONÁRIO III DO GRUPO G1	108
ANEXO G –	DADOS DA PROVA PRÁTICA DO GRUPO G1	111

1 INTRODUÇÃO

Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) (BRASIL, 2000) há dezesseis anos vêm orientando para a necessidade de desenvolver nas aulas de Física determinadas competências e habilidades que estão no cerne da experimentação e da medição para uma melhor compreensão dessa ciência. Segundo Halliday, Resnick e Walker (2002) tais recomendações ocorrem porque a Física é também uma ciência experimental, fundamentada em medidas.

A medida (medição) é um tema recorrente na Educação Básica, fato facilmente constatado nos currículos e livros didáticos de Física e de outras Ciências Naturais e Matemática. Força (2012) enfatiza que apesar dessa recorrência, a maneira superficial como o tema vem sendo abordado, não permite aos alunos a aquisição de noções a respeito de flutuações e incertezas, inerentes ao processo de medição. Segundo Camargo Filho (2014), discussões sobre incertezas associadas ao processo de medição deveriam ser feitas desde o ensino básico.

A incompreensão de que toda medida apresenta incerteza, aliada a uma concepção “ingênua” da natureza da ciência e do trabalho científico, é capaz de gerar no estudante a falsa impressão de que a teoria não está correta, por não existir concordância exata entre o valor teórico e o experimental. De acordo com Moreira (1999), tal impressão pode enfraquecer o conhecimento científico perante as concepções alternativas, em geral de senso comum, aprendidas significativamente nas experiências do cotidiano.

Laburú *et al.* (2010), relatam que apesar do reconhecimento da importância da experimentação por parte dos professores de Física e das outras ciências naturais do ensino básico, as atividades experimentais são por vezes abandonadas. Entre as muitas justificativas para esse comportamento, está o não saber lidar com os dados experimentais quantitativos e a dificuldade de trabalhar as incertezas associadas ao processo de medição.

Este estudo propõe uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) (MOREIRA, 2011) para que os professores de física possam enfrentar “o problema da incerteza na medida no ensino médio”, demonstrando aos alunos a importância de saber que todo processo de medição pode apresentar flutuações e incertezas. Tal conhecimento é essencial para uma melhor

compreensão das atividades experimentais quantitativas, e conseqüentemente da Física.

A UEPS é uma proposta para o ensino que está alicerçada por investigações de áreas da Educação Científica (que também abarcam o Ensino de Física), com enfoque na aprendizagem significativa (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980), tais como experimentação no ensino de ciências e multimodos de representações, sendo orientadas por questões da história, filosofia e sociologia da ciência (hfsc).

Os objetivos dessa proposta pedagógica são: (i) a elaboração de uma UEPS, capaz de introduzir os principais conceitos envolvidos durante um processo de medição e incertezas a ele associadas; (ii) a aplicação da UEPS em uma turma do 1º ano de Física do ensino médio para verificar se ela é capaz de promover a aprendizagem significativa destes conceitos; (iii) por fim, observar se esta proposta favorece a realização de processos de medições mais conscientes por parte dos alunos nas atividades experimentais de Física no nível escolar.

Este trabalho foi estruturado em quatro capítulos. O primeiro apresenta a fundamentação teórica, utilizada para a formulação e estruturação da proposta didática, visando estabelecer uma ligação entre teoria e prática de maneira contextualizada, diversificada, atraente, e, conceitualmente adequada ao ensino da Física em nível escolar.

O segundo capítulo aborda a metodologia da pesquisa. Nele foi inserido o problema da pesquisa, o referencial no qual a UEPS foi desenvolvida, e também os procedimentos metodológicos utilizados para efetuar a coleta e a análise dos dados. No terceiro capítulo são expostos os principais resultados obtidos em cada etapa da aplicação da UEPS, bem como sua avaliação. Por fim, no último capítulo estão as principais constatações das situações de ensino desta proposta pedagógica, além do resultado e propostas futuras.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O presente capítulo apresenta as três linhas de pesquisa da área da Educação Científica que alicerçam este estudo: a aprendizagem significativa, a experimentação no ensino de ciências, os múltiplos e múltiplas representações, sendo que as duas últimas possuem enfoque na aprendizagem significativa e são orientadas por questões da história, filosofia e sociologia da ciência (hfsc). Nele também é apresentado o tópico: “o problema da incerteza na medida no ensino médio”, que aborda algumas constatações de investigações sobre processos de medições e incertezas inerentes, além dos principais conceitos e terminologias específicas utilizadas para expressar os dados e resultados experimentais, utilizadas na elaboração da UEPS.

2.1 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Conforme Moreira (1999), a aprendizagem significativa é o conceito principal da teoria desenvolvida por David Ausubel desde a década de 1960, que contou com uma importante colaboração de Joseph Novak e outros no refinamento, imprimindo-lhe uma visão mais humanista, como também na divulgação. Segundo Ausubel:

[...] a essência do processo de aprendizagem significativa é que ideias simbolicamente expressas (uma nova informação ou novo conhecimento) sejam relacionadas, de maneira substantiva (não literal) e não arbitrária (espontânea), ao que o aluno já sabe, ou seja, a algum aspecto de sua estrutura cognitiva especificamente relevante. (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1978, p.41).

Para Ausubel, Novak e Hanesian (1980), há três condições necessárias para que ocorra a aprendizagem significativa: (i) que o novo material (nova informação) a ser apreendido seja potencialmente significativo; (ii) a existência de subsunçores¹ relativos ao novo material; (iii) a disposição (vontade) do aprendiz em relacionar-se com o novo material.

Em relação à primeira condição, segundo Ausubel (*apud* MOREIRA, 1999, p. 21), para que o novo material possa ser considerado potencialmente

¹ Subsunçores é uma tentativa de tradução para o português da palavra inglesa subsumers, utilizada por Ausubel (1978) para relacionar uma nova informação ou novo conhecimento a estruturas de conhecimento específicas pré-existent no aprendiz.

significativo há dois fatores essenciais: a natureza em si do novo material; e a natureza da estrutura cognitiva do aprendiz. Quanto à natureza, o material deve ter significado lógico, isto é, ser suficientemente não-litera e não-aleatório, de forma que as ideias correspondentes relevantes se situem dentro do domínio da capacidade do aprendiz. E no que se refere à natureza da estrutura cognitiva do aprendiz, devem estar presentes na estrutura cognitiva os conceitos subsunçores específicos, com os quais o novo material poderá interagir (MOREIRA, 1999). Resumidamente, para que o novo material (nova informação) possa ser considerado potencialmente significativo, ele(a) precisa necessariamente ser lógica e psicologicamente adequado para se relacionar com a estrutura cognitiva do aprendiz.

Quanto à segunda condição, para Ausubel (*apud* MOREIRA; OSTERMANN, 1999, p. 45) é essencial que se verifique a existência de subsunçores, pois o ponto de partida da aprendizagem significativa é aquilo que o aluno já sabe. O subsunçor é um conceito fundamental na teoria ausubeliana, ele poder ser um conceito, uma ideia, uma proposição, uma imagem, um símbolo etc. significativos, já existentes na estrutura cognitiva do indivíduo, ou seja, seu conhecimento prévio (Moreira, 1999). Para Moreira, Caballeros e Rodriguez (1997) as novas ideias, conceitos, proposições, podem ser aprendidos significativamente (e retidos) na medida em que subsunçores especificamente relevantes e inclusivos estejam adequadamente claros e disponíveis na estrutura cognitiva do sujeito e funcionem como pontos de “ancoragem” aos primeiros.

Ainda em relação à segunda condição, para Ausubel (*apud* MOREIRA, 1999, p. 77) o conhecimento prévio é muito importante para o processo de aprendizagem porque permite uma "matriz ideacional e organizacional" (sic), para congrega, compreender e fixar novos conhecimentos, refletindo uma relação de subordinação do novo material à estrutura cognitiva preexistente. Em outras palavras, o subsunçor é uma espécie de “ponte cognitiva” capaz de promover a facilitação da aprendizagem de conhecimentos novos.

Por fim, a última condição, a pré-disposição do aprendiz em relacionar-se com o novo material, é uma visão consensual em torno da proposta construtivista, que considera importante a participação ativa dos estudantes no processo de ensino-aprendizagem e na construção do conhecimento (FORÇA, 2012). De nada adianta o material ser potencialmente significativo se não há vontade

por parte do estudante em aprendê-lo, assim como não adianta a predisposição do aprendiz, se o material não for potencialmente significativo (MOREIRA, 1999).

Segundo Ausubel (*apud* MOREIRA, 1999), aprendizagem significativa não é sinônima de aprendizagem correta. Isso porque, qualquer conceito errôneo, ou seja, não reconhecido por uma comunidade, aprendido pelo indivíduo de forma significativa, acaba sendo incorporado a sua estrutura cognitiva, e conseqüentemente, resistente à mudança. Tais conceitos errôneos ou concepções alternativas, em geral, são construídos pelos indivíduos na medida em que vão se situando no mundo em que vivem (MOREIRA, 1999).

Moreira (1999) argumenta que para enfrentar o problema das concepções alternativas, fazem-se necessárias estratégias que facilitem uma mudança conceitual, não como mera substituição de um significado errôneo por outro considerado correto, o que é impossível, se o primeiro foi incorporado à estrutura cognitiva do indivíduo por uma aprendizagem significativa. Segundo o autor, uma alternativa seria mudar o enfoque instrucional para promover essa mudança conceitual em termos de construção de novas estruturas de significados que, simultaneamente, vão obliterando significados alternativos até o nível de significados residuais. Uma mudança de enfoque, que ao mesmo tempo, admite a impossibilidade de uma completa mudança conceitual, e aponta uma saída à aquisição significativa de significados contextualmente aceitos, por meio de ensino explicitamente planejado para essa finalidade (MOREIRA, 1999).

Para Ausubel, (*apud* MOREIRA, 1999, p. 50), a aprendizagem significativa de um novo material, pode ser influenciada de duas maneiras:

- *Substantivamente*: pela apresentação ao aprendiz de conceitos e princípios unificadores e inclusivos, com maior poder explanatório e propriedades integradoras;
- *Programaticamente*: pelo emprego de métodos adequados de apresentação do conteúdo e utilização dos princípios programáticos apropriados na organização da matéria de ensino. Segundo Moreira (1999), os princípios programáticos referidos propostos pela abordagem ausubeliana, são:
 - *Diferenciação Progressiva*: é o princípio no qual ideias mais gerais e inclusivas da matéria de ensino devem ser apresentadas no início do

ensino, para então serem progressivamente diferenciadas em seus pormenores e suas especificidades;

- *Reconciliação Integrativa*: é o princípio segundo o qual a programação do conteúdo deve favorecer a diferenciação progressiva, explorando relações entre proposições e conceitos destacando as diferenças e similaridades importantes e promover a reconciliação de inconsistências reais ou aparentes. O que para Ausubel (apud MOREIRA, 1999, p. 51) é uma antítese à prática usual nos livros textos, onde se separam ideias e tópicos em capítulos e seções;
- *Organização Sequencial*: é o princípio que faz uso das dependências sequenciais naturais da matéria de ensino e do fato que a compreensão de um dado tópico, frequentemente, pressupõe o entendimento prévio de algum tópico relacionado;
- *Consolidação*: é o princípio que assegura a contínua prontidão na matéria de ensino e o sucesso na aprendizagem sequencialmente organizada. Nesse princípio considera-se que a prática, os exercícios e réplicas reflexivas contribuem para a aprendizagem significativa.

De acordo com Moreira e Masini (1982) à primeira vista este processo instrutivo, pode até parecer, exclusivamente unidirecional, “do mais geral para o particular”. Na abordagem ausubeliana, apesar de propor que se comece do “geral” para se chegar progressivamente ao particular, também aponta que se deve fazer constantes referências ao “geral” para não perder a visão do todo e para elaborar cada vez mais o “geral”. Ao fazer isso, simultaneamente se promove a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa. Isto é, para atingir a reconciliação integrativa é preciso “descer” dos conceitos gerais para os particulares e “subir” novamente até os gerais. (MOREIRA; MASINI, 1982).

Uma importante constatação feita por Ausubel (apud Moreira, 1999, p. 56) é que durante a avaliação da aprendizagem, os alunos podem não externar o novo conhecimento da mesma forma que aprenderam, e que as repostas provavelmente serão particulares de um aluno para outro, devido à estrutura cognitiva idiossincrática de cada indivíduo. Por isso, destaca-se que não adianta tentar medir a aprendizagem significativa com métodos desenvolvidos para outros

tipos de aprendizagem, como por exemplo, a aprendizagem mecânica ou tradicional, pois estes foram elaboradas com outras finalidades, como testar a capacidade de memorização de respostas padronizadas.

Moreira (1999) faz algumas importantes recomendações aos professores interessados em promover a aprendizagem significativa:

- Reconhecer que a mente do aprendiz não é uma caixa vazia que se enche com conhecimento, pois ao adentrar a sala de aula, os alunos carregam consigo significados alternativos a respeito do mundo, que em geral, estão em desacordo com os significados aceitos no contexto da matéria de ensino;
- Refletir criticamente a sua práxis, procurando formular melhor os critérios para escolher uma nova informação (conteúdo), que deve ser compatível com a estrutura cognitiva do aprendiz e com o seu contexto histórico-social;
- Identificar previamente a existência ou não de subsunçores, relacionados à nova informação que se quer ensinar;
- Selecionar ou elaborar materiais instrucionais e estratégias potencialmente significativas, de forma que sejam aquelas com maior probabilidade de interagir com os subsunçores, já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz, para que, este possa atribuir significados a nova informação;
- Utilizar novas formas de avaliar se a aprendizagem foi significativa, tais como, os mapas conceituais de Novak e os diagramas “V” de Gowin.

2.2 EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA

A importância das atividades experimentais no ensino das ciências naturais é consensual em educação científica (LABURÚ; MAMPRIN; SALVADEGO, 2011). Araújo e Abib (2003) enfatizam que a experimentação é vista, por professores e alunos, como uma estratégia fundamental no ensino de Física, para motivar e facilitar a aprendizagem significativa dos conceitos físicos.

Armstrong (*apud* HODSON, 1993), desde o final do século XIX, já afirmava a importância da experimentação, quando dizia ser necessário “fazer

ciência” para “entender ciência”. Isso, por acreditar que a atividade experimental proporciona aos estudantes a “descoberta” de informações, que do contrário seria adquirida mecanicamente por demonstração, ou apenas em teoria.

Lavonen *et al.* (2004) afirmam que as atividades experimentais no ensino das Ciências implicam na motivação, facilitando a integração entre teoria, prática e a aprendizagem de conceitos. Krasilchik (2004) ressalta alguns valores da utilização das atividades experimentais, entre eles: permite o contato direto com os fenômenos, possibilita deparar-se com resultados não previstos, que desafiam a imaginação e o raciocínio, e a vivência de diferentes etapas como a manipulação, observação, investigação e interpretação.

Peduzzi e Peduzzi (*apud.* FORÇA, 2012) apontam seis motivos favoráveis à experimentação, tanto qualitativa quanto quantitativa, quando estruturada em bases educacionais e epistemológicas claras e bem conduzidas: (i) aguçam a curiosidade; (ii) minimizam a abstração; (iii) proporcionam discussões, elaborações de hipóteses, reflexões e criticidade; (iv) oportunizam o conhecimento de métodos, técnicas de investigação e análise de dados; (v) facilitam a compreensão de conceitos, leis e teorias; (vi) aproxima a Física do mundo real através da percepção da relação Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS).

Para Laburú, Mamprin e Salvadego (2011) a tarefa central do experimento consiste em estabelecer uma unidade entre a teoria e a prática, desde que se compreenda não haver uma relação de subordinação entre ambas, e sim, de complementaridade. White (1996) ressalta que a atividade experimental pode contribuir para o ensino de ciências, mas sozinha não pode resolver o problema principal de interligar teoria e prática.

Galiazzi *et al.* (2001) afirmam ser consenso na crença dos professores que a experimentação representa uma atividade fundamental no ensino da ciência, todavia acrescentam que na vivência das escolas, as atividades experimentais são raramente realizadas, embora estejam presentes.

Pena e Filho (2009) apontam os três principais obstáculos para o uso da experimentação relatados na literatura em Ensino de Física, são eles: (i) *carência de pesquisas sobre o que os alunos realmente aprendem por meio dos experimentos* (PASSOS; MOREIRA, 1982; SANTOS *et al.*, 1986; BARBOSA *et al.*, 1999; SILVA, 2002; BORGES; GOMES, 2005; MARINELI; PACCA, 2006, p. 497), (ii) *despreparo do professor para trabalhar com atividades experimentais* (AXT *et al.*,

1973; SILVA; BUTKUS, 1985; SANTOS *et al.*, 1985; FARIAS, 1992; MACEDO *et al.*, 2000; GRANDINI & GRANDINI, 2004; BORGES; GOMES, 2005); (iii) *condições de trabalho* (PEÑA *et al.*, 1991; FARIAS, 1992; RINALDI *et al.*, 1997; SIAS; TEIXEIRA, 2006).

Em relação ao primeiro obstáculo, Pena e Filho (2009) apontam a carência de mais pesquisas, “foros” de discussão e divulgação sobre a eficiência, relevância e benefícios da experimentação para o ensino-aprendizagem de Física.

Quanto ao segundo obstáculo, Coelho *et al.* (*apud* PENA; FILHO, 2009) ressaltam que é um dos principais fatores para a ausência das atividades experimentais nas aulas de Física no ambiente escolar. Os autores enfatizam que a formação continuada específica sobre essa temática poderia ter um papel fundamental na superação deste obstáculo, pois possibilitaria o contato dos professores com as novas metodologias desenvolvidas pelas pesquisas sobre experimentação aplicada ao ensino de Física.

Ainda em relação ao segundo obstáculo, Borges (2002) afirma que nas propostas didáticas que envolvam experimentos, o mais importante é ter um bom planejamento e clareza dos objetivos das atividades preparadas, o que também permite realizar várias tarefas diferentes com um mesmo conjunto de materiais (BORGES, 2002). Hodson (1988) argumenta que os experimentos podem ser simplificados com a eliminação de alguns passos menos importantes e o emprego de aparatos e técnicas mais simples. Laburú, Mamprin e Salvadego (2011) sugerem que a montagem de um aparato que demande muito tempo seja feita e testada com antecedência, bem como a preparação e a pesagem de materiais, esta prática concede aos alunos mais tempo a ser dedicado à parte conceitual significativa da atividade.

Por fim, em relação ao terceiro obstáculo referente às *condições de trabalho*, Coelho *et al.* (*apud* PENA; FILHO, 2009) afirmam que a falta de apoio material e pedagógico das escolas são prejudiciais ao desenvolvimento de metodologias que incluam as atividades experimentais. Estes autores apontam que uma possível solução seria os professores se tornarem assíduos consumidores de pesquisas que disseminem novas formas de uso do laboratório, experimentos com material de baixo custo, para assim sendo, refletir e usar as que mais se enquadrem à realidade da escola e dos alunos.

Ainda em relação ao terceiro obstáculo, Hodson (1994a) enfatiza que nem sempre o trabalho prático requer a utilização de um laboratório. Laburú, Mamprin e Salvadego (2011) argumentam que as atividades experimentais não requerem local específico nem carga horária, portanto, podem ser realizadas em qualquer lugar ou momento, tanto na explicação de conceitos, quanto na resolução de problemas, ou até mesmo em uma aula exclusiva para a experimentação.

Para Hodson (1994) o ensino de Ciências deve propiciar condições para se decifrar o mundo físico, e para isso ocorra, compreende ser necessário empregar os conhecimentos conceituais e procedimentais desenvolvidos pelos cientistas para ajudar nessa tarefa. Segundo o autor, para a familiarização com esse mundo, o trabalho no laboratório é essencial e, talvez, o único modo de experimentar diretamente muitos fenômenos e fatos que a ciência aborda, mas isso só é possível junto a um hábil e experiente especialista que possa contribuir com sua ajuda, crítica e conselho sobre a prática.

Laburú, Mamprin e Salvadego (2011) enfatizam que a atividade experimental, não apenas a realizada em laboratório, mas também aquela proposta em sala de aula se configura como uma atividade, um saber-fazer, que é fundamental para professores e estudantes, devendo ser reconhecida e percebida como atividade significativa, na compreensão da ciência, ao possibilitar a conexão entre o modelo teórico e a compreensão dos fenômenos.

2.3 MULTIMODOS E MÚLTIPLAS REPRESENTAÇÕES

De acordo com Prain e Waldrip (*apud.* Zompero; Laburú, 2010), as múltiplas representações referem-se à prática de representar o mesmo conceito de diferentes maneiras, incluindo verbal, gráfica, numérica, dentre outras. Já a multimodalidade de representações remete à integração do discurso científico em diferentes modos para representar os raciocínios, processos, descobertas e explicações científicas.

A inspiração desta linha de investigação, segundo Laburú, Arruda e Nardi (2003) pode ser atribuída diretamente às ideias do pensador Paul Karl Feyerabend (1924-1994), autor da obra *Contra o Método* (1977) [traduzida por *Against Method*, 1975] na qual defende o “pluralismo metodológico” como modelo

para o desenvolvimento científico, também denominado “*Anarquismo Epistemológico*”².

A multiplicidade de modos e formas de representações busca o aprimoramento do processo de ensino-aprendizagem de ciências, uma vez que os alunos necessitam entender e conectar, dentro de uma integrada totalidade discursiva, diferentes modos e variadas formas representacionais científicas, tais como: descritiva (gráfica, verbal, tabular), matemáticas, cinestésicas (gestos), experimentais, ou figurativas (pictóricas, analógicas, metafóricas) (PRAIN; WALDRIP, 2006).

Laburú et. al. (2011) enfatizam que os alunos, durante situações de ensino, podem ser submetidos a diferentes modos e formas representacionais. Para exemplificar isso, os autores argumentam que para apresentar uma forma gráfica cartesiana podem ser empregados diversos modos: em papel milimetrado, em uma tela computacional dinâmica, gesticulado ou ditado oralmente. Por sua vez, uma equação matemática pode ser apresentada em um mesmo modo representacional, por exemplo, visualizada em papel, mas em diferentes formas: registro algébrico, gráfico ou escrita em linguagem natural (LABURÚ; BARROS; SILVA, 2011).

Para Ainswoth (*apud* PRAIN; WALDRIP, 2006) há três argumentos favoráveis ao uso didático de multimodos e múltiplas representações: (i) uma nova representação retoma, confirma ou reforça conhecimentos passados, o que é muito importante, já que a comunicação humana é um sistema sujeito a falhas; (ii) ao fornecer uma nova representação, pode auxiliar na superação das limitações de representações de conceitos-chave vistos anteriormente; (iii) diferentes representações capacitam o aprendiz a identificar um conceito subjacente, por meio dos modos ou das diferentes formas dentro do mesmo modo.

Vuyk (*apud* LABURÚ; BARROS; SILVA, 2011, p. 483) acrescenta outros dois argumentos: (iv) a exposição à pluralidade representacional permite potencializar a promoção de uma riqueza associativa conceitual interessante; (v) promove a desconcentração cognitiva ao oferecer ao aprendiz novos caminhos de

² Em sua obra “Contra Método”, Feyerabend expressa a sua profissão de fé no anarquismo epistemológico, mas também deixa claro que este não é um novo pressuposto metodológico em substituição aos seus predecessores. Ele argumenta que a existência de um método científico não passa de um mito que não resiste a qualquer investigação da história da ciência, ou seja, todas as metodologias têm seu limite de validade. Com base nisso, defende uma maior liberdade no que diz respeito à metodologia, através do princípio do “tudo vale” para a investigação científica. Isso significa que devemos apelar livremente para qualquer argumentação, para todas as metodologias possíveis, para a propaganda, se for o caso, para defender nossas posições teóricas.

pensamento para a compreensão de um processo, ideia, conceito ou linguagem que está em vias de construir ou tem dificuldades de ultrapassar.

Os pesquisadores que defendem uma prática pedagógica pluralista durante o processo de ensino e aprendizagem, ao invés de uma prática pedagógica rígida, argumentam que ela é uma proposta de ensino mais adequada à realidade da sala de aula e do aluno.

A sala de aula é considerada por muitos estudos como um ambiente complexo, onde a dinâmica do ensinar e aprender, muitas vezes se dá de forma corrida e com vários acontecimentos simultâneos que, muitas vezes, dispersam a atenção dos alunos. Em um ambiente assim, podem ocorrer falhas na comunicação entre professor e alunos, possibilitando que informações sejam repassadas de forma insuficiente, incompleta, ou até mesmo errônea, tornando ainda mais difícil a tarefa do aluno de aprender e/ou compreender o que o professor ensina (LABURÚ; BARROS; SILVA, 2011).

Não bastasse o ambiente complexo da sala de aula, os autores ainda apontam que os alunos têm suas preferências para aprender, pois durante uma prática de ensino, em cada um estão presentes variáveis subjetivas, como: comportamento, atitudes, motivações e singulares histórias de vida, características que devem ser levadas em conta. (LABURÚ; BARROS; SILVA, 2011).

Segundo Laburú, Barros e Silva (2011), somente uma proposta de ensino pluralista é capaz de contornar as barreiras das formas idiossincráticas de aprender, e do ambiente complexo e pluralista de subjetividades que é a sala de aula, e promover uma aprendizagem significativa.

Por fim, os defensores da proposta pedagógica multimodal, entendem que toda palavra, toda figura, diagrama, equação e simbolismo envolvido nas ações, gestos, procedimentos, entre outros, pertencem a um contexto, e é parte de uma troca de significados entre diferentes membros de uma comunidade, no caso da sala de aula, essa troca se dá entre professor e alunos (LABURÚ; BARROS; SILVA, 2011).

2.4 O PROBLEMA DA INCERTEZA NA MEDIDA NO ENSINO DE FÍSICA

Desde as primeiras aulas de Física do ensino médio e superior, os alunos necessitam aprender a relacionar grandezas físicas, tais como: por exemplo,

comprimento, massa, tempo, etc., para compreender as leis que regem os fenômenos naturais. De acordo com Juraitis e Domiciano (2009), esse entendimento se torna incompleto quando não há uma informação quantitativa, obtida através do medir o comprimento, pesar um corpo, contar o tempo etc. Pensamento este corroborado pelas palavras de William Thomson (1824-1907), mais conhecido como Lorde Kelvin, que resumidamente dizia: “*o que pode ser medido, pode se dizer que é conhecido*”.

A medida (medição) e a experimentação são temas recorrentes na Educação Básica, fato facilmente constatado nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN's) (BRASIL, 2000) e nos livros didáticos de Física e das outras Ciências Naturais e Matemática. No quadro 1, vemos algumas habilidades e competências a serem desenvolvidas que estão no cerne da medição e experimentação pelos professores da educação básica.

Quadro 1: Algumas diretrizes dos PCN's, que envolvem a medição e da experimentação.

PCN's EDUCAÇÃO BÁSICA		
Disciplina	Conceitos	Habilidades e competências a serem desenvolvidas
Matemática Fundamenta I	Medição	<ul style="list-style-type: none"> Reconhecer grandezas mensuráveis, como comprimento, massa, capacidade e elaborar estratégias pessoais de medida; Utilizar instrumentos de medida, usuais ou não, estimar resultados e expressá-los por meio de representações não necessariamente convencionais.
Ciências Naturais Fundamenta I	Experimentação	<ul style="list-style-type: none"> Realizar atividades experimentais para favorecer a construção de conhecimentos sobre medidas em conexão com a área de Matemática; Reconhecer a medida, como um conjunto de fatos e interpretações, para não tratá-la como números puros, sem fazer menção às unidades, deixando assim de compreender os fenômenos envolvidos no processo de medição;
Ciências da Naturezas (Física) Ensino Médio	Experimentação e Medição	<ul style="list-style-type: none"> Reconhecer e utilizar adequadamente, na forma oral e escrita, símbolos, códigos e nomenclatura da linguagem científica; Ler, articular e interpretar símbolos e códigos em diferentes linguagens e representações: sentenças, equações, esquemas, diagramas, tabelas, gráficos e representações geométricas; Selecionar e utilizar instrumentos de medição e de cálculo, representar dados e utilizar escalas, fazer estimativas, elaborar hipóteses e interpretar resultados; Reconhecer, utilizar, interpretar e propor modelos explicativos para fenômenos ou sistemas

		naturais ou tecnológicos; <ul style="list-style-type: none"> • Compreender o conhecimento científico (empírico) e o tecnológico como resultados de uma construção humana, inseridos em um processo histórico e social.
--	--	--

Fonte: Adaptado de PCN's (BRASIL, 2000).

Apesar das recomendações dos PCN's, muitos professores de Física da Educação Básica, norteados pelos currículos e livros didáticos, acabam reproduzindo uma apresentação superficial da medida (medição), que em geral, se limita a uma breve introdução sobre a importância da medida para as ciências em geral, além de explicações sobre Sistema Internacional de Unidades e transformações de unidades de medidas. (FORÇA, 2012).

Soma-se a abordagem superficial da medida o relato de Laburú *et al.* (2010), sobre o abandono das atividades experimentais por parte dos professores de Física e das outras ciências naturais do ensino básico. Entre as muitas justificativas para esse comportamento, os autores destacam duas relativas ao processo de medição, a saber, o não saber lidar com os dados experimentais quantitativos e a dificuldade de trabalhar as incertezas associadas ao processo de medição.

De acordo com Munford e Lima (2007), estes comportamentos apresentados pelos professores de física do nível básico, além de não ser o mais adequado, acaba enfraquecendo o conhecimento científico, perante o senso comum. Para estes autores, uma boa perspectiva para o ensino de ciências é aquela que aproxima a “ciência escolar” da “ciência acadêmica” dentro do seu contexto cultural, trazendo para a escola aspectos inerentes ao saber-fazer dos cientistas, apropriados ao nível escolar.

Força (2012) relata que no ensino de Física no nível superior, o entendimento conceitual tem um suporte empírico para auxiliar na compreensão desta ciência. Para a autora a experimentação está diretamente ligada à medição, que transforma conceitos em quantidades físicas mensuráveis. Acontece que uma medida por mais bem feita é sempre uma aproximação, isso porque sempre estão

presentes incertezas experimentais que influenciam no resultado da medição. Por isso, conceitos inerentes ao processo de medição, tais como, medida, medição, probabilidade, incertezas, etc., são tratados desde as primeiras aulas de laboratório, para auxiliar na interpretação dos resultados e estimar a sua confiabilidade. A recíproca não é verdadeira nas aulas de Física do ensino médio.

2.4.1 Investigações Científicas Sobre Medições

As investigações a respeito da medição e da experimentação, utilizadas por este estudo, apontam basicamente dois obstáculos a serem superados durante o processo instrucional para esclarecer aos estudantes tais tópicos. O primeiro obstáculo está na falta de entendimento dos alunos a respeito da finalidade da medição (SILVA, 2004; LABURÚ; BARROS, 2009; BUFFLER *et al.*, 2001; FORÇA, 2012; ALLIE *et al.*, 1998). O segundo obstáculo na falta de noções básicas a respeito de incertezas inerentes ao processo de medição (FORÇA, 2012; MILLAR, 1987; CAMARGO FILHO, 2014).

Em relação ao primeiro obstáculo, Silva (2004), ressalta que muitos alunos não compreendem a finalidade da medição, mesmo sabendo utilizar instrumentos e técnicas para realizar boas medidas, pois o fazem como se fossem uma operação puramente mecânica. O autor argumenta que para entender melhor a finalidade da medição é importante proporcionar uma visão da evolução histórico-social do Sistema Métrico. Isso para demonstrar a utilidade, a quantidade de trabalho humano e a persistência necessária, para se construir um sistema de medida simples e coerente, como é o atual Sistema Métrico (SILVA, 2004).

Laburú e Barros (2009, p. 152), enfatizam que o sentido dado pelo aluno à medida, terá influência sobre suas decisões de como coletar, processar e interpretar os dados. Buffler *et al.* (2001) ao investigar a compreensão dos alunos sobre o processo de medição no laboratório de Física, identificou na maioria dos alunos participantes a crença na existência de um único valor correto num universo de N medidas, que é alcançado mediante uma única medida, que possui um valor igual ou mais próximo do valor “verdadeiro”, podendo-se descartar as demais. A esta crença presente na maioria dos alunos participantes da pesquisa, os autores denominaram de “*paradigma pontual*”.

Para Buffler *et al.* (2001) uma perspectiva válida de instrução sobre a finalidade da medição é aquela capaz de promover uma evolução conceitual do “paradigma pontual” para o “paradigma de conjunto”. O *paradigma de conjunto*, ao contrário do primeiro, considera cada medida uma aproximação do valor “verdadeiro”, e que o desvio desse valor é aleatório, portanto, requerem um número de medidas suficiente para formar uma distribuição, que se agrupam em torno de um valor específico, necessitando de respaldo teórico para saber expressá-los corretamente, e admitindo que incertezas estejam associadas a qualquer medida (BUFLER *et al.*, 2001).

Allie *et al* (1998) recomendam mais estudos a respeito da compreensão processual dos alunos, sobre a medição e a experimentação, e que estes estudos sejam utilizados como ponto de partida para o ensino. Os autores também criticam a forma como geralmente são ensinados os procedimentos experimentais nas aulas de ciências, como uma lista de instruções a serem seguidas para se obter boas medidas e manipular os dados.

Em relação ao segundo obstáculo, Força (2012, p.14), critica a mera reprodução da abordagem superficial da medida (medição), que é insuficiente para que os alunos adquiram conhecimentos ou noções a respeito de flutuações e incertezas, inerentes ao processo de medição, essenciais para propostas pedagógicas, que incluam a experimentação. Isso por entender que ela pode ser prejudicial para a fiabilidade do conhecimento científico perante o senso comum, quando o aluno se deparar com um resultado experimental diferente do previsto pela teoria, por não ter conhecimento das causas possíveis para a discrepância.

A autora propõe que sejam trabalhados conceitos relacionados à teoria de erros, para que os alunos consigam perceber com mais facilidade e clareza as possíveis causas das incertezas experimentais desde o nível básico. Millar (1987) faz uma proposta voltada a melhora da acurácia das medidas, nela os alunos conhecem de antemão o valor “alvo”³, de uma grandeza física que deve ser perseguido durante a realização da experiência, isso tem o intuito de orientar e respaldar a interpretação dos resultados obtidos durante o processo de medição.

³ Valor “alvo” é um termo que indica um valor de referência a ser perseguido ou atingido (LABURÚ; SILVA; FORÇA, 2012), durante um experimento. Este termo é usado aqui em substituição à expressão valor “verdadeiro”, pois ela não parece ser adequada, uma vez que, é sabido que o valor verdadeiro exato de uma grandeza física é sempre desconhecido (VUOLO, 1992).

Camargo Filho (2014) enfatiza que a experimentação e a medição estão no cerne da ciência e, portanto é imprescindível que os alunos desenvolvam uma compreensão apropriada desses conceitos já no ensino básico, em que a introdução à medição deve contemplar discussões sobre incertezas, raramente compreendidas pelos alunos sem a devida instrução. O autor recomenda a substituição do termo "erro experimental" por "incerteza experimental", pois entende que essa terminologia distorce o entendimento do aluno, sugerindo a existência de verdadeiros e falsos resultados experimentais, contribuindo para uma visão ingênua de que uma experiência tem um resultado "correto" predeterminado conhecido pelo professor, sem erro, enquanto as medições dos alunos estão muitas vezes "em erro".

Ainda de acordo com Camargo Filho (2014), é necessário utilizar uma linguagem consistente, para o relato de medições e incertezas. Por isso, o autor recomenda que sejam usados os documentos mais conhecidos e divulgados pelo ISO (International Organization for Standardization), baseados em uma interpolação probabilística da medição, que são: o VIM – Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM, 2012) e o GUM – Guia para a Expressão da Incerteza de Medição (JCGM, 2008), procurando sempre as versões mais atuais.

2.4.2 Conceitos Básicos Sobre Medidas, Medição e Incertezas

Etimologicamente, os significados das palavras medida e medição são complexos, devido as suas aplicabilidades em diversas áreas do conhecimento, tais como, Matemática, Física, Filosofia, Metrologia etc. (FORÇA, 2012). Juraitis e Domiciano (2009) comentam que a medida e medição são, muitas vezes, utilizadas como sinônimos, mas estes termos possuem significados diferentes. Portanto, é importante salientar que há terminologias específicas para designar os conceitos relacionados ao processo de medição.

De acordo com VIM (2012), a *medida* representa a magnitude de uma dada *grandeza*, caracterizada por um valor numérico e uma *unidade de medida*, obtida através da comparação com uma *grandeza básica*, que preferencialmente pertençam ao Sistema internacional (SI). A medida pode ser representada como:

$$\text{Medida} = \text{Valor Numérico} + \text{Unidade}$$

Para o GUM (2008), a *grandeza* é o atributo de um fenômeno, corpo ou substância, que pode ser qualitativamente distinguido e quantitativamente determinado, sob a forma de um número e uma *unidade de medida* de referência. Segundo o VIM (2012) a unidade de medida é o que caracteriza uma grandeza, sendo escolhida por convenção sua nomenclatura, símbolo e definição.

Conforme o VIM (2012) o *Sistema de Unidades* é o conjunto de unidades de medidas que compreende as unidades básicas e suas unidades derivadas, bem como seus múltiplos e submúltiplos, convencionadas por uma comunidade. Este é o caso do Sistema MKS (Metro-Kilograma-Segundo), muito utilizado no estudo da Física, cujas unidades também pertencem ao Sistema Internacional de Unidades (SI), que é um sistema coerente de unidades adotado e recomendado pela Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM). Nas tabelas abaixo estão às unidades básicas e derivadas pertencentes ao MKS, assim como seus prefixos de notação científica.

Tabela 1 - Unidades básicas do sistema MKS.

Grandezas Físicas Fundamentais	Unidades		
	Nomenclatura	Símbolo	Definição
Comprimento	Metro	m	O metro é o comprimento do trajeto percorrido pela luz, no vácuo, durante 1/2999792458 segundo.
Massa	Quilograma	kg	O quilograma corresponde à massa do protótipo internacional constituído por um cilindro de platina e 10% de irídio, depositado no BIPM.
Tempo	Segundo	s	O segundo é a duração de 9.192.631.770 períodos da radiação correspondente à transição entre dois níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo de Césio 133, em repouso, à temperatura de 0K.

Fonte: Silva (2004).

Tabela 2 - Unidades derivadas do sistema MKS.

Grandezas Físicas Derivadas	Unidades	
	Nomenclatura	Símbolo
Área	Metro quadrado	m ²
Volume	Metro cúbico	m ³
Densidade ou massa específica	Quilograma por metro cúbico	kg/m ³
Velocidade	Metro por segundo	m/s
Aceleração	Metro por segundo ao quadrado	m/s ²
Força	Newton = Quilograma-metro por segundo ao quadrado	N = kg.m/s ²
Trabalho, Energia	Joule = Quilograma-metro quadrado por segundo ao quadrado	J = kg.m ² /s ²
Potência, Fluxo de Energia	Watt = Joule por segundo	W = J/s = J.s ⁻¹
Frequência	Hertz	Hz = 1/s = s ⁻¹

Fonte: Silva (2004).

Tabela 3 - Alguns prefixos de múltiplos e submúltiplos mais utilizados em notação científica.

Múltiplos			
Numeral	Potência	Prefixo	Símbolo
1	10 ⁰	--	--
10	10 ¹	Deca	da
100	10 ²	Hecto	h
1.000	10 ³	Kilo	K
1.000.000	10 ⁶	Mega	M
1.000.000.000	10 ⁹	Giga	G
1.000.000.000.000	10 ¹²	Tera	T
...
Submúltiplos			
Numeral	Potência	Prefixo	Símbolo
0,1	10 ⁻¹	Deci	d
0,01	10 ⁻²	Centi	c
0,001	10 ⁻³	Mili	m
0,00001	10 ⁻⁶	Micro	μ

0,000000001	10^{-9}	Nano	n
0,0000000000001	10^{-12}	Pico	p
...

Fonte: Silva (2004).

De acordo com o GUM (2008) e o VIM (2012), a medição é o processo de obtenção experimental de um ou mais valores que podem ser, razoavelmente, atribuídos a uma grandeza. O objetivo da medição é determinar o valor do *mensurando*, isto é, uma grandeza específica ou particular, submetida à aferição. Uma medição começa, portanto, com uma especificação apropriada do mensurando, do *método* e do *procedimento de medição*.

Segundo o VIM (2012) o método de medição pode ser definido como a sequência lógica de operações utilizada durante a realização das medições, que deve ser descrita genericamente pelo operador. Os métodos de medição podem ser classificados de diversos modos mais os mais conhecidos são o *método de medição direta*, e o *método de medição indireta*. De acordo com Juraitis e Domiciano (2009) as medições diretas, geralmente são obtidas com algum instrumento de medição, e as medições indiretas são oriundas de algum cálculo envolvendo grandezas obtidas por medição direta.

De acordo com o VIM (2012) o procedimento de medição é definido como o conjunto de operações usadas na execução de aferição particulares, incluindo os princípios, métodos utilizados para obtenção dum *resultado de medição*, que devem ser descritas detalhadamente pelo operador, para permitir a sua reprodutibilidade⁴ por outros operadores.

Segundo o GUM (2008), o resultado de uma medição, em geral, é somente uma aproximação ou estimativa do valor do mensurando, e, sendo assim, só é completo quando acompanhado pela declaração da incerteza dessa estimativa. O resultado da medição pode ser representado como:

⁴ Reprodutibilidade segundo o GUM (2008) é o grau de concordância entre os resultados das medições de um mesmo mensurando, que pode ser afetada quando efetuadas sob condições modificadas de medição. As condições modificadas podem incluir: o princípio de medição; o método de medição; observador; instrumento de medição; padrão de referência; local; condições ambientais e tempo de execução.

**Resultado = Estimativa ± Estimativa
da Medição da Medida da Incerteza**

Ainda de acordo com o GUM (2008), em muitos casos, o resultado de uma medição é determinado com base em uma série de observações obtidas sobre condições de repetitividade⁵, ou seja, quando se realiza medições sucessivas de um mesmo mensurando sob as mesmas condições de medição. Neste contexto, a medida é o resultado da medição. Para Kitchenham *et al.* (apud FORÇA, 2012), a medição pode produzir como resultado um *conjunto de medidas* ou *dados experimentais*.

Juraitis e Domiciano (2009) postulam que todo experimento envolve dois princípios básicos: o *procedimento experimental* e o *resultado experimental*. O primeiro, objetiva a coleta de dados experimentais por meio da identificação da grandeza ou grandezas a serem medidas, a escolha dos métodos e *instrumentos de medição*. Enquanto o segundo pode ser qualitativo, quantitativo ou ambos. Os resultados experimentais qualitativos visam à descrição de algum fenômeno ou grandeza física observada. Os resultados experimentais quantitativos, frequentemente, envolvem a efetuação de cálculos aritméticos envolvendo dados experimentais, e saber representá-los corretamente (JURAITIS; DOMICIANO, 2009).

Segundo o VIM (2012) instrumento de medição é definido como dispositivo utilizado para realizar medições, individualmente ou associado a um ou mais dispositivos suplementares, que fornecem informação a respeito do valor do mensurando. Os instrumentos de medição, tanto analógicos como digitais, podem ser classificados em dois grandes grupos de instrumentos:

- *instrumentos de medição indicador*: são aqueles que fornecem um sinal de saída visual ou acústica, contendo informações sobre o valor da grandeza medida. Ex: Voltímetro, termômetro, balança eletrônica, etc.;
- *instrumentos de medida materializada*: são aqueles que reproduzem ou fornecem de maneira permanente durante sua utilização, grandezas duma ou mais naturezas, cada uma com um valor atribuído. Ex: Peso-

⁵ Repetibilidade segundo o GUM (2008) é o grau de concordância entre os resultados de medições sucessivas de um mesmo mensurando, efetuadas sob as mesmas condições de medição. As condições de repetibilidade incluem o mesmo procedimento de medição, mesmo observador, mesmo instrumento de medição, utilização nas mesmas condições ambientais, no mesmo local e a repetição em curto período de tempo.

padrão, medidores com escala graduada, blocos-padrão, materiais com referência certificada etc.

Para realizar boas medidas é muito importantes saber escolher os instrumentos, os métodos e procedimentos de medição, pois há uma grande variedade de aparelhos e metodologias de medição com mesmo emprego. Um exemplo são os instrumentos de aferição linear como: a régua, o paquímetro e o micrômetro, geralmente usados para quantificar as dimensões espaciais das coisas, mas cada um deles é mais adequado à determinada situação.

Segundo o VIM (2000) os instrumentos de medição trabalham dentro de uma faixa de medição ou faixa de trabalho que é o conjunto de valores de um mensurando para o qual se admite que o erro de um instrumento de medição mantém-se dentro dos limites especificados. Esta faixa de medição é dividida em pequenas indicações, denominadas escalas de graduação. A menor diferença entre estas indicações que pode ser significativamente percebida é denominada de resolução.

Em Física, bem como em outras ciências e demais ramos da atividade humana, como por exemplo: a indústria, agricultura, construção civil, comércio etc., para expressar grandezas medidas, além da utilização de um sistema de unidades de referência, é comum o uso da *notação científica* e dos *algarismos significativos*. Um bom exemplo disso, é que atualmente, muitas informações contidas nas embalagens de produtos seguem as normas determinadas por agências reguladoras, como, o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - INMETRO, onde devem apresentar os valores referentes às grandezas aferidas, em geral, escritas na forma decimal ou em notação científica.

Segundo a enciclopédia livre Wikipédia (2016) a notação científica é uma forma de expressar números que são demasiado grandes ou pequenos, para ser convenientemente escrito na forma decimal ou na forma simbólica. Em notação científica todos os números são escritos na forma:

$$m \cdot 10^n$$

onde n é o expoente da base 10 representado por um número inteiro e m é o coeficiente, podendo ser qualquer número real. As escalas dos instrumentos de medição, comumente são escritas em notação científica, relacionadas a unidades de referência pertencentes ao SI ou não.

Os Algarismos significativos, de acordo com o dicionário virtual de língua portuguesa Infopédia (2016), como o próprio nome já diz, são números que carregam algum significado, que está associado ao processo de medição. Os Algarismos significativos são formados pelos Algarismos corretos ou exatos mais um último Algarismo, denominado duvidoso. Os Algarismos corretos são fruto da concordância com as divisões da escala de algum instrumento de medição. Os Algarismos duvidosos ou aproximados correspondem a uma fração da menor divisão, e são oriundos de estimativas ou “chutes”.

Segundo o Instituto de Pesos e Medidas do Estado de São Paulo IPEM-SP (2016) é muito importante saber distinguir o valor efetivamente obtido no processo de medição, daqueles decorrentes de cálculo ou arredondamento numérico. Assim, dado o resultado de uma medição, os Algarismos significativos são todos aqueles contados, da esquerda para a direita, a partir do primeiro Algarismo diferente de zero.

Acontece que qualquer medida, por mais bem feita que seja, é sempre aproximada. Um dos princípios básicos da física, diz: *“Não se pode medir uma grandeza física com precisão absoluta”*. (JURAITIS; DOMICIANO, 2009). Segundo Hennes et al. (1986), em qualquer processo de medição estão presentes os erros que caracterizam incertezas inevitáveis, elas podem estar associadas a diversos fatores como a habilidade do operador, as características dos equipamentos de medida utilizados, condições ambientais durante o processo de medição, o número de repetições, a forma de representação da medida, entre outros.

Vuolo (1992) enfatiza que em um laboratório científico, onde o ambiente é controlado e os instrumentos são adequados, quanto num laboratório didático, podem ocorrer erros de vários tipos em um processo de medição. Segundo o autor, os erros podem ser separados em dois grandes grupos que são os *estatísticos e sistemáticos*:

- **Erros Aleatórios ou Estatísticos:** resultam de variações aleatórias no valor de uma grandeza medida (cujo valor é conhecido), devido a fatores que, por algum motivo, não podem ou não são controlados.
- **Erros Sistemáticos:** podem ocorrer por diversas causas e geralmente se enquadram nos tipos a seguir:

- Erros Instrumentais: em geral estão associados ao erro de calibração do instrumento (por parte do fabricante), utilizado para realizar a medida. Outros fatores podem afetar a calibração de um instrumento de medida, tais como: desgaste, condições ambientais (temperatura e pressão) entre outros fatores;
- Erros Teóricos: ao realizar uma experiência, geralmente, é necessário usar um modelo teórico para obter informações de grandezas físicas associadas a um determinado fenômeno da natureza. A rigor, um cientista sempre tenta utilizar um modelo ou lei (linguagem matemática, o mais simples possível), ou seja, na forma de uma equação, e nem sempre essa equação consegue descrever uma situação real, e sim um comportamento aproximado do fenômeno estudado. Nesse caso, considera-se esse modelo insuficiente para dar conta da complexidade que o fenômeno exige, mas mesmo assim, não deixa de ser uma aproximação. Há ainda casos em que não se consideram conversões de unidades, correção de fatores relativísticos etc.;
- Erros Ambientais: é um erro devido a efeitos do ambiente sobre a experiência. Fatores ambientais como a temperatura, pressão, umidade, aceleração da gravidade, campo magnético terrestre, ondas eletromagnéticas (ondas de rádio, microondas, luz, radiação cósmica etc.), e outros podem introduzir erro nos resultados de uma medida. Seja por interferir diretamente no material analisado ou na alteração da calibração do instrumento de medida;
- Erros Observacionais: é um erro devido a falhas de procedimento do observador, ou seja, falta de habilidade, deficiência física (defeitos de visão) etc. Na leitura dos instrumentos de medição destacam-se os seguintes erros por parte do observador: o erro de paralaxe, que é quando se erra na leitura de escala de instrumentos devido ao não alinhamento correto entre o olho do observador e a escala de instrumento (em geral analógico); o tempo de reação humana, que pode influenciar na tomada de tempo de algum fenômeno estudado;

- Erros Grosseiros ou Enganos: não são erros do ponto de vista da *Teoria de Erros*. Enganos podem ocorrer, por exemplo, na leitura de um instrumento ou na realização de cálculos, na utilização errônea de unidades, esquecimento de anotação de dados, entre outros fatores.

Precisão e acurácia são termos muito utilizados para se referir à qualidade dos instrumentos de medição e ao resultado de uma medição, mas a abrangência dessas expressões é maior e engloba todo o processo de medição. A palavra “precisão” é usada como referência a incertezas estatísticas, enquanto a palavra “acurácia” se refere à incerteza total, ou seja, a soma dos erros sistemáticos e estatísticos (VUOLO, 1992).

De acordo com Vuolo (1992), obter medidas confiáveis não é uma tarefa fácil, pois todo o processo de medição está sujeito a incertezas, que o torna um processo aleatório⁶ ou probabilístico. Apesar disso, é possível obter uma boa estimativa de medidas físicas com certo nível de confiança de acordo com a Probabilidade e Estatística.

De acordo com o VIM (2012), a incerteza de uma medição está relacionada a parâmetros não negativos que caracteriza a dispersão dos valores atribuídos a um mensurando, com base nas informações utilizadas. Para o GUM (2008) a incerteza em um resultado de uma medição geralmente consiste de vários componentes que podem ser agrupados em duas categorias de acordo com o método utilizado para estimar seu valor numérico, que foram denominadas incertezas tipo A e incertezas tipo B, ambas baseadas em distribuição de probabilidades.

Segundo VIM (2012) a avaliação de incertezas do Tipo A parte da distribuição estatística dos valores provenientes de séries de medições e podem ser caracterizadas por desvios-padrão, também denominado incerteza-padrão. Segundo Helene *et al.* (1991), é possível obter uma “boa estimativa”, em termos estatísticos, de um “valor alvo” x_0 , quando um conjunto n de dados $\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ correspondente à medida da mesma grandeza física de x_0 . Supondo que os valores do conjunto $\{x_i\}$, onde $i = 1, 2, 3, \dots, n$, obedecessem a uma distribuição normal

⁶ Um processo aleatório é qualquer fenômeno que pode ter diferentes resultados finais, quando repetido em certas condições predeterminadas. Nem sempre é possível se obter essas condições. O fato de que algumas condições não serem ou não poderem ser repetidas é o que torna o processo aleatório. Os diferentes resultados finais podem ser definidos como eventos. Mas os diferentes resultados finais podem também ser arbitrariamente reunidos em grupos que também podem ser definidos como eventos (VUOLO, 1992).

centrada em x_0 e se os dados são estatisticamente independentes uns dos outros, então, o valor médio é uma “boa estimativa” do valor alvo x_0 , representado pela seguinte expressão:

$$X_m = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} \quad (1)$$

Segundo Hellene *et al.* (1991), duas condições são necessárias para a obtenção de uma boa estimativa, são elas: (i) o número de dados experimentais precisa ser suficientemente grande; (ii) os dados experimentais precisam ser estatisticamente independentes, implicando que a coleta dos dados (medidas) deve ocorrer de formas diferentes, como por exemplo, quando um mesmo objeto é medido por pessoas diferentes ou quando um mesmo objeto é medido por instrumentos de medidas diferentes capazes de medir essa grandeza.

Para Hellene *et al.* (1991) é fundamental que sejamos capazes de responder a seguinte questão: “quão boa é esta estimativa?”. Segundo os autores, para responder a esta questão, precisamos estimar quão longe o nosso resultado pode estar do valor alvo da grandeza medida, ou seja, qual valor se deve atribuir à incerteza. Isto pode ser representado da seguinte forma:

$$\sigma_{x_m} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{n(n-1)}} \quad (2)$$

Onde σ é desvio padrão médio, δ_i^2 é o desvio quadrático de cada medida em relação ao valor médio e n é o número total de medidas. Logo, o resultado de uma medição, após avaliação da incerteza tipo A, pode ser expresso da seguinte forma:

$$\text{Resultado de Medição} = \left(\text{Estimativa do valor da grandeza medida} \right) \pm \left(\text{Estimativa de quão longe o valor da grandeza medida pode estar do valor verdadeiro} \right)$$

ou

$$X = X_m \pm \sigma_{x_m} \quad (3)$$

onde x é o resultado da medição, x_m é o valor médio e σ_{x_m} é a incerteza do valor médio.

Mesmo com todos esses procedimentos ainda não estaríamos absolutamente seguros de que o valor alvo x_0 da grandeza medida esteja dentro do intervalo $[x_m + \sigma_{x_m}, x_m - \sigma_{x_m}]$, porque de acordo com a teoria de probabilidade, ainda que o conjunto de dados $\{x_i\}$ fosse composto de um número infinito de medidas da grandeza física, e que eles obedecessem a uma distribuição normal centrada em x_0 , e que eles fossem estatisticamente independentes, há um nível de confiança máxima de 68% (HELLENE *et al.*, 1991).

O GUM (2008) recomenda que alguns termos anteriormente citados como, *intervalo de confiança* e *nível de confiança*, não devem ser utilizados quando se referem à incerteza de medição. São termos específicos utilizados na estatística de frequência, conceitos que não se aplicam à incerteza. No caso do termo *intervalo de confiança* recomenda-se substituir apenas por *intervalo*, que deve ser interpretado como um intervalo em torno do resultado de medição que abrange uma extensa fração p da distribuição de probabilidade, onde p é a probabilidade de abrangência. O termo *nível da confiança* deve ser usado como um sinônimo para *probabilidade de abrangência*.

Segundo VIM (2012), a avaliação de incertezas do tipo B pode ser determinada por quaisquer métodos que não o estatístico. Para o GUM (2008), raramente é possível, na prática, utilizar apenas o método estatístico, devido à falta de tempo e recursos limitados, portanto, a incerteza de um resultado de medição, geralmente é avaliada utilizando-se de um modelo matemático da medição por meio da lei de propagação da incerteza, que é uma avaliação do tipo B. Segundo Vuolo (1992), a avaliação da incerteza tipo B, também pode ser determinada por: distribuição normal, regressão linear, polinomial, exponencial, logarítmica etc., verossimilhança, barras de incerteza, covariância entre outros abordados na teoria de erros.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Nesta seção estão descritos o problema da pesquisa, os procedimentos metodológicos utilizados para o desenvolvimento e aplicação da proposta pedagógica, bem como a forma de coleta e análise dos dados obtidos durante a UEPS.

3.1 PROBLEMA DA PESQUISA

Durante a realização dos experimentos é comum os alunos se depararem com resultados inesperados, oriundos de incertezas inerentes ao processo de medição. Quando não há nenhuma explicação por parte do professor, a respeito da origem dessas incertezas, isso pode acabar gerando na mente dos alunos, um conflito inconciliável, principalmente quando houver uma diferença perceptível entre o valor experimental e o valor teórico esperado. De acordo com Moreira (1999), isto acaba enfraquecendo o conhecimento científico perante as concepções alternativas dos alunos.

Baseado nessa constatação, e, nas considerações precedentes deste estudo, se buscou uma proposta de ensino para o enfrentamento dessa temática relevante, denominada “o problema da incerteza na medida no ensino médio”. Uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa UEPS (MOREIRA, 2011), foi desenvolvida para tentar solucionar o referido problema. Na construção dessa proposta pedagógica levaram-se em consideração as seguintes indagações:

- I. Quais os principais conceitos envolvidos em um processo de medição?
- II. Quais metodologias e recursos didáticos seriam os mais apropriados para introduzir conceitos relativos aos processos de medição no ensino básico?
- III. Esta proposta pedagógica é capaz de introduzir conceitos relativos às incertezas associadas aos processos de medição, conceitualmente adequada ao ensino de Física do nível médio, e promover a aprendizagem significativa destes conceitos?
- IV. A UEPS é capaz promover a realização de processos de medições mais conscientes nas aulas experimentais, por parte dos alunos de Física do ensino médio?

As primeiras duas perguntas foram respondidas no capítulo anterior, onde foram apresentados os principais conceitos envolvidos no processo de medição e suas terminologias específicas, as metodologias respaldadas pelas investigações em Educação Científica, com enfoque na aprendizagem significativa, que também forneceram ideias para desenvolver os materiais instrucionais. As demais perguntas só puderam ser respondidas após os resultados obtidos com a aplicação da UEPS.

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A verificação da aprendizagem significativa no sentido atribuído pela teoria ausubeliana, seguindo a proposta de UEPS de Moreira (2011), foi feita através da produção escrita e a observação (KETELE; ROEGIERS, 1999; GIL, 1999), e pela análise estatística do desempenho dos alunos nas atividades avaliadas. Atividades como questionários, redação, avaliações teóricas e práticas, realizadas pelos alunos durante o processo de ensino aprendizagem, são à base da avaliação da produção escrita. A avaliação da observação baseou-se no diário de campo, onde foram registrados os comportamentos e falas de alunos e do professor titular, considerados importantes, a respeito da proposta pedagógica, das metodologias e ferramentas didáticas utilizadas.

A análise estatística dos dados coletados levou em consideração os conhecimentos aceitos no contexto da matéria e o desenvolvimento de habilidades e competências recomendadas dos PCN's, relativas à medição e a experimentação. Os resultados obtidos foram inseridos em tabelas, conforme descrito em cada etapa da UEPS, a seguir. Através dos parâmetros estatísticos, se procurou verificar a evolução conceitual dos alunos em relação ao processo de medição e a incerteza na medida.

3.3 DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DA UEPS

Neste estudo é proposto uma Unidades de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) que aborda as incertezas associadas ao processo de medição. As UEPS são sequências didáticas de ensino fundamentadas teoricamente na aprendizagem significativa de Ausubel, Novak e Hanesian (AUSUBEL; NOVAK;

HANESIAN, 1980), desenvolvida por Moreira (2011). As UEPS têm por objetivo facilitar a aprendizagem significativa de tópicos específicos de conhecimento declarativo e/ou procedimental, por meio da elaboração, planejamento e organização das sequências ou etapas didáticas (Moreira, 2011).

Segundo Moreira (2011), há alguns princípios que orientam as UEPS, são eles:

- (i) o *subsunçor*, por ser a variável que mais influencia a aprendizagem significativa;
- (ii) a *predisposição do aprendiz*, pois é ele que decide se quer ou não aprender significativamente determinado conhecimento;
- (iii) os *organizadores prévios*, tendo em vista que eles relacionam os novos conhecimentos com os conhecimentos pré-existentes;
- (iv) as *situações-problema*, em razão de elas darem sentido a novos conhecimentos, devendo ser propostas em níveis crescentes de complexidade, funcionando também como organizadores prévios;
- (v) a *mediação do professor entre novo conhecimento e o aprendiz*, atuando como provedor de situações-problema, cuidadosamente selecionadas, que privilegiem a interação social e o diálogo (crítico) professor-alunos e alunos-alunos, essencial para a captação de significados;
- (vi) a *aprendizagem significativa e crítica*, não mecânica, que estimula a busca de respostas (pesquisa, questionamentos, conjecturas), ao invés da memorização de respostas prontas, usando materiais e estratégias instrucionais diversas, que abandona a narrativa centrada no professor em favor de um ensino centrado no aluno.

A princípio uma UEPS é constituída de seis etapas sequenciais distintas: *Etapa de planejamento; Etapa inicial ou de verificação de conhecimento prévio; Etapa introdutória; Etapa de Desenvolvimento; Etapa de avaliação da aprendizagem; e etapa de avaliação da UEPS*. Os aspectos gerais e finalidades de cada etapa da UEPS serão apresentados a seguir. Detalhes sobre o planejamento e execução de cada uma das etapas estão inseridos no plano de trabalho (ver apêndice A) e nos registros da aplicação da UEPS (ver apêndice B).

3.3.1 Etapa de Planejamento

Nesta etapa é definido o tópico específico a ser abordado, identificando os aspectos declarativos e procedimentais aceitos no contexto da matéria de ensino (MOREIRA, 2011). Durante a etapa de planejamento escolhidos: (i) o tópico da UEPS; (ii) os conteúdos a serem abordados; (iii) o público para o qual se destina a proposta, a época e o local onde se aplicaria a UEPS, levando-se em conta a realidade da escola (estrutura, recursos didáticos disponíveis etc.); (iv) a organização das etapas; (v) a quantidade de aulas necessárias, as metodologias e recursos didáticos a serem adotados e sua respectiva distribuição pelas etapas.

O tópico escolhido foi “o problema da incerteza na medida no ensino de Física do ensino médio”. Após pesquisas nos currículos e referências bibliográficas identificaram-se os conteúdos a serem trabalhados durante a UEPS, que seriam:

- Sistema Métrico:
 - Breve evolução histórico-social;
 - Apresentação das grandezas básicas e derivadas, bem como seus múltiplos e submúltiplos do SI;
- Medida:
 - Física e a medida no cotidiano;
 - Definição e formas de representação;
 - Notação científica;
 - Algarismos significativos;
- Medição:
 - Definição e formas de representação;
 - Instrumentos de medida;
 - Incertezas;
 - Acurácia e precisão;
 - Estimativa e confiabilidade de uma medição;

Questões curriculares, do estudo e particulares nos levaram a escolher uma turma de 1º ano de Física, do período matutino, do Colégio Estadual Professora Adélia Dionísia Barbosa, lotado no município de Londrina, no estado do

Paraná, para aplicar a UEPS. Decidiu-se também que a pesquisa começaria no início do ano letivo de 2015. A aplicação da UEPS seria supervisionada pela professora titular de Física, e pelo orientador deste estudo.

Os referenciais teóricos precedentes foram utilizados na escolha, elaboração, organização e diversificação das metodologias e materiais instrucionais utilizados na UEPS. As investigações em ensino de física, também serviram para estabelecer uma ligação entre teoria e prática, conceitualmente adequada e aplicável ao nível escolar e ao contexto histórico-social dos alunos e da escola.

Das seis etapas da UEPS, apenas quatro serão efetivamente realizadas na escola, para garantir a aplicação delas foram programadas treze aulas, divididas da seguinte maneira: *Etapa inicial ou de verificação de subsunçores* (2 aulas), *Etapa introdutória* (1 aula) e *Etapa de desenvolvimento* (10 aulas). A *Etapa de avaliação de aprendizagem* ocorreu simultaneamente à aplicação da UEPS.

3.3.2 Etapa Inicial ou de Verificação de Conhecimento Prévio

De acordo com Moreira (2011) esta etapa é considerada o ponto de partida da aplicação da UEPS em sala de aula, e tem como objetivo verificar o conhecimento prévio teórico-prático dos alunos aceito ou não no contexto da matéria de ensino, considerado relevante para a aprendizagem significativa do tópico em questão. Essa fase é fundamental para esta proposta pedagógica, pois as ideias prévias aqui identificadas serão consideradas na aplicação das demais etapas da UEPS.

Para verificar o conhecimento prévio relativo ao processo medição dos alunos, foram propostos um questionário sobre medidas, denominado questionário I, (ver apêndice C), e um experimento, intitulado prática I (ver apêndice D), ambos aplicados na sala de aula, e realizados individualmente pelos alunos.

A análise do questionário I, apresentada na tabela 4, baseou-se: (i) no total de questões respondidas; (ii) a quantidade de alternativas “sim”, na qual os alunos admitem ter conhecimento do assunto; (iii) a quantidade de respostas por escrito que possuíam algum subsunçor relativo ao processo de medição. As duas últimas pelo total de alunos participantes. As questões não respondidas pelos alunos, independente do motivo, foram computadas como pertencentes à alternativa “não”.

A Prática I foi analisada com base nos resultados das medições realizadas pelos alunos, conforme a tabela 5, pelos seguintes parâmetros: (i) o n° total de medidas realizadas, (ii) a concordância dos valores numéricos obtidos e os valores esperados para cada mensurando, conhecidos apenas pelo professor; (iii) a representação de cada medida, onde se levou em conta a forma correta do n° de algarismos significativos e sua respectiva unidade. Os dois últimos pontos pelo total de alunos participantes. As medidas não realizadas pelos alunos foram consideradas como objetivos não cumpridos, tanto para o valor numérico, como para a representação da medida.

3.3.3 Etapa Introdutória

Nesta fase da UEPS se propõe *situações-problema*, em nível introdutório, considerando o conhecimento prévio do aluno, para que ele as perceba como problemas e sejam capazes de modelá-las mentalmente, preparando-os cognitivamente para a introdução do conhecimento (declarativo e procedimental) que se pretende ensinar (MOREIRA, 2011).

Com o objetivo de introduzir o tema medida, optou-se por um documentário, intitulado “Precisão: A medida de todas as coisas – Espaço e Tempo”. Este filme foi exibido aos estudantes com a finalidade de proporcionar uma visão breve da evolução histórica e social dos conceitos de metro e segundo, para demonstrar a relação espaço-tempo, suas respectivas utilidades, a quantidade de trabalho humano envolvido e a persistência necessária, para se chegar ao Sistema Métrico atual.

Para avaliar essa proposta, após a exibição do documentário foi solicitado aos alunos à elaboração de uma redação, onde deveriam relatar o que aprenderam sobre os temas abordados no filme. Na análise da produção textual foram consideradas palavras e frases relativas a conceitos inerentes ao processo de medição e a importância da medição.

3.3.4 Etapa de Desenvolvimento

Nesta etapa é abordado o tópico a ser ensinado, observando a diferenciação progressiva, começando pelos aspectos mais gerais, inclusivos, dando uma visão do todo, do que é mais importante na unidade de ensino, mas logo

exemplificando, abordando aspectos específicos; as situações-problema devem continuamente retornar aos aspectos mais gerais, estruturantes (o que efetivamente pretende ensinar) do conteúdo da unidade de ensino, porém em nível crescente, ou seja, a nova apresentação deve ser mais elevada e complexa em relação à apresentação anterior, com o intuito de promover a reconciliação integradora, podem-se apresentar novos exemplos, destacar semelhanças e diferenças relativas entre situações-problema; nesta etapa também se deve desenvolver atividades colaborativas que possibilitem a interação social dos alunos, com experiências e significados, tendo o professor como mediador (MOREIRA, 2011).

Para introduzir os principais conceitos relacionados ao processo de medição e as incertezas associadas à medida, levou-se em conta as considerações descritas no capítulo precedente e nas seções anteriores. No decorrer desta etapa foram utilizados, dois textos como referência. O texto 1, intitulado “o que é medida?” (ver apêndice E), aborda a medida e sua relação com a física e o cotidiano, seus conceitos principais, definições, formas de representação, e, mostra também a relação do processo de medição com os experimentos, e os erros experimentais. O texto 2, denominado “como obter medidas confiáveis?” (ver apêndice F), apresenta a medição em termos probabilísticos, falando da aleatoriedade de um processo de medição e das formas de estimar o valor de uma medida e sua confiabilidade.

Os textos são os principais norteadores da etapa de desenvolvimento, mas durante a mesma, buscou-se uma maior diversificação das metodologias e recursos didáticos, tais como: aulas expositivas, aulas experimentais, diálogo, leitura, diagramas, slides, livros, questionários, exercícios etc., para promover a contínua participação dos alunos no processo de ensino aprendizagem.

Para avaliar o progresso da aprendizagem dos alunos durante esta etapa foram propostas 4 atividades, dois questionários (ver apêndice A), uma prova teórica (ver apêndice H) e uma prova prática (ver apêndice I). As análises dos dados coletados durante esta etapa foram divididas pelas atividades aplicadas, seguindo a ordem cronológica abaixo:

- Questionário II: analisou-se as questões elaboradas e respondidas pelos alunos sobre os principais conceitos abordados no texto 1, apresentada

na tabela 6, de acordo com o percentual de questões e respostas relevantes que abordavam conceitos sobre o processo de medição e a física e de questões irrelevantes, que apesar de contidas no texto, não eram relevantes no contexto da matéria de ensino, com base no número total de questões elaboradas e respondidas pelos alunos participantes;

- Prova teórica: foram julgadas as respostas dadas pelos alunos, mostrada na tabela 7, onde se considerou: (i) o nº total de respostas dos alunos participantes por questão; (ii) e o percentual de respostas coerentes, ou seja, com alguma evidência de aprendizagem relativa aos conceitos vistos no texto 1, nas aulas e simulado, pelo total de alunos participantes. O critério adotado para determinar se as respostas eram ou não coerente, implicava em atingir ao menos 60% do objetivo de cada questão da prova de acordo com as respostas previamente elaboradas pelo professor;
- Questionário III: a análise das questões sobre o texto 2, apresentada na tabela 8, foi feita com base: (i) no nº total de questões respondidas pelos grupos; (ii) e no percentual de respostas coerentes, pelo total de questões respondidas. Foram consideradas coerentes apenas as respostas com alguma evidência de aprendizagem relativa aos conceitos vistos no texto 2 e nas aulas;
- Prova prática: nesta avaliação final, esboçada na tabela 9, avaliou-se o método e o procedimento experimental para obtenção das medidas, os cálculos efetuados, resultados obtidos, de acordo com: (i) o percentual de medidas realizadas pelos grupos; (iii) a representação coerente das medidas. Para que itens avaliados fossem qualificados como coerentes, atentou-se ao cumprimento mínimo de 60% dos seguintes requisitos: procedimento usado na medição direta do comprimento, demonstração de cálculos para obter as medidas indiretas do tempo de reação, a organização dos dados na tabela, a estimativa do tempo de reação e sua confiabilidade, ou seja, o seu valor médio e o desvio padrão da média, bem como a representação dos resultados, através dos Algarismos significativos e unidades de referência.

3.3.5 Etapa de Avaliação da Aprendizagem

A avaliação da aprendizagem deve ser realizada ao longo da UEPS, portanto é necessário registrar tudo o que possa ser considerado evidência de aprendizagem significativa do conteúdo trabalhado, além disso, deve haver uma avaliação somatória individual após o término da etapa de desenvolvimento, com questões/situações que impliquem compreensão, que evidenciem a captação de significados e, idealmente, alguma capacidade de transferência; tais questões/situações deverão ser previamente validadas por professores experientes na matéria de ensino. A avaliação de desempenho na UEPS deverá estar baseada, em pé de igualdade, tanto na avaliação formativa (situações, tarefas colaborativas, registros do professor) como na avaliação somatória individual (MOREIRA, 2011).

Não foi desenvolvida uma avaliação específica para esta etapa, pois o processo de avaliação da aprendizagem dos alunos ocorreu ao longo das etapas anteriores durante a aplicação da UEPS. Para a verificação da aprendizagem foram consideradas todas as aulas e atividades, que tiveram a atribuição de um valor quantitativo. Todas as atividades anteriormente descritas nas seções anteriores possuíam valores quantitativos, por ordem cronológica de aplicação estão: o questionário I (valor: 5,0), prática I (valor: 5,0), produção textual (valor: 10,0), questionário II (valor: 5,0), prova teórica (valor: 30,0), questionário III (valor: 5,0), prova prática (valor: 30,0). À postura dos alunos durante as atividades desenvolvidas em sala de aula, ou seja, a participação nas discussões, nas atividades teóricas e práticas, na execução de pesquisas e tarefas etc., também foi avaliada (valor 10,0).

A análise da aprendizagem dos alunos durante a UEPS, que dirá se ela foi ou não significativa, baseou-se no desenvolvimento da compreensão conceitual e das habilidades e competências esboçadas no quadro 1. Para demonstrar a evolução conceitual sobre a temática “o problema da incerteza na medida no ensino médio”, apresentada no gráfico 1, foram consideradas a prática I, na prova teórica e na prova prática. Ambas levando-se em conta as médias dos resultados das atividades realizadas pelos alunos participantes em cada dessas atividades aplicadas durante a UEPS.

3.3.6 Etapa de avaliação da UEPS

A UEPS só pode ser declarada como exitosa se a avaliação do desempenho dos alunos fornecerem evidências de aprendizagem significativa (captação de significados, compreensão, capacidade de explicar, de aplicar o conhecimento para resolver situações-problema). A aprendizagem significativa é progressiva, o domínio de um campo conceitual é progressivo; por isso, a ênfase em evidências, não em comportamentos finais (MOREIRA, 2011).

Após a aplicação da UEPS, foi elaborado um balanço geral dos resultados obtidos com a aplicação da UEPS, levando-se em conta a aprendizagem e o envolvimento dos alunos com a proposta pedagógica, com as metodologias, recursos didáticos, conteúdos apresentados etc. Essa análise também possibilitou uma reflexão da práxis do professor e a avaliação dos elementos constitutivos da UEPS, que poderão ser reformulados, reorganizados ou até mesmo descartados.

4 RESULTADOS DA UEPS

Essa seção apresenta os principais dados coletados e resultados obtidos durante a aplicação da UEPS, divididos entre as 5 etapas avaliadas.

4.1 ETAPA INICIAL OU DE VERIFICAÇÃO DE CONHECIMENTO PRÉVIO

Os dados coletados na etapa inicial são apresentados nas tabelas 4 e 5, respectivamente. A tabela 4 mostra as informações obtidas por meio do questionário I, que verificou o conhecimento prévio dos alunos a respeito de conceitos relativos à medida.

Tabela 4 - Conhecimento prévio dos alunos sobre alguns conceitos envolvidos no processo de medição.

Nº da Questão	Total de questões respondidas	Percentual de alternativas "sim" (%)	Percentual de respostas por escrito com presença de subsunçores (%)
1	31	78,13	53,13
2	32	46,88	34,38
3	29	25,00	21,88
4	31	37,50	37,50
5	31	03,13	03,13
6	31	12,50	03,13
7	31	34,38	18,75
8	31	37,50	37,50
9	31	59,38	56,25
10	30	21,88	21,88
11- i	25	---	75,00
11- ii	25	---	59,38
			Média: 35,16

Total de alunos participantes: 32

Fonte: o próprio autor.

Os resultados da Tabela 4, baseado nas respostas dos alunos participantes, foram divididos por questão:

- Questão 1: a maioria admite saber o que é medida, mas destes, pouco mais da metade conseguiram esboçar algum conhecimento sobre o assunto, que em geral está relacionado ao "tamanho das coisas";
- Questão 2: menos de 50% sabe o que é medição;

- Questão 3: a maior parte não sabe o que é a incerteza de uma medida;
- Questão 4: pouco mais que um terço admite saber quais tipos de erros podem ocorrer durante uma medida, e dos poucos citados, todos podem ser atribuídos ao erro humano, tais como medir errado, utilizar o instrumento de medição errado, esquecer ou errar as unidades, fazer cálculos errados, etc.;
- Questão 5 e 6: demonstram que os conceitos de algarismos significativos e notação científica, se ensinados anteriormente não foram incorporados ao conhecimento prévio dos alunos, ou são conceitos desconhecidos;
- Questão 7: menos da metade admite saber o que é grandeza física, e das poucas respostas, a maioria está ligada a medida de dimensões espaciais, tais como, altura, comprimento, largura, volume, que são conceitos vistos em matemática do ensino fundamental;
- Questão 8: cerca de 40% diz saber como obter medidas confiáveis, mas na maioria das respostas os principais fatores responsáveis por uma medida confiável, são o procedimento do operador e o instrumento de medição.
- Questão 9: a maioria considera ser importante saber medir, porque muitas situações do cotidiano exigem informações quantitativas;
- Questão 10: a Física é praticamente desconhecida, resultado já esperado de alunos que estão vendo essa matéria pela primeira vez, mas pelo mesmo um terço dos alunos participantes já estava fazendo Física, pela segunda vez. Das respostas obtidas a maioria dizia que a física estava ligada a medição;
- Questão 11-a: quase todos os alunos reconhecem os instrumentos de medição mostrados, e sabem qual a utilidade dos mesmos em determinadas situações do cotidiano;
- Questão 11-b: boa parte dos alunos tem noções de como realizar medições sem utilizar instrumentos de medição, usando como referência os pés e os passos.

A tabela 5 contém os dados obtidos por meio da prática I, que verificou o saber-fazer dos alunos quando submetidos a um processo de medição.

Tabela 5 - Saber-fazer prévio dos alunos relativos ao processo de medição.

Medições por Instrumento de medição	Total de medidas por instrumento	Percentual de valores numéricos coerentes (%)	Percentual de representações da medida coerentes (%)
Régua centimetrada	31	100,00	51,61
Régua milimetrada	30	96,77	19,35
Cronômetro digital	23	74,19	0,00
Média: 23,65			
Total de alunos participantes: 31			

Fonte: o próprio autor.

Com base nas informações da tabela 5, é possível constatar que a maior parte dos alunos conseguiu resultados numéricos bem próximos aos do valor esperado para cada mensurando, mas poucos conseguiram representar corretamente as medidas. As falhas na representação das medidas foram: o esquecimento ou erro das unidades, o erro no número de algarismos significativos, principalmente nas medições com a régua milimetrada e com o cronometro digital.

Durante a prática I se observou alguns fatores que podem ter levado os alunos a errar a representação das medidas. No caso das unidades a solicitação feita na atividade de representar as medidas em centímetros, tanto para régua centimetrada como para a régua milimetrada, pode ter confundido os alunos. No caso dos algarismos significativos a principal dificuldade dos alunos era ler e interpretar corretamente a indicação visual da grandeza medida pelos instrumentos de medida.

Com base nos resultados das atividades e observações feitas durante a etapa inicial, chegamos as seguintes conclusões: (i) a maioria dos alunos tem algum conhecimento sobre a medida e conseguem usar alguns instrumentos de medição que lhes são familiares como à régua; (ii) o conhecimento alegado pela maioria dos alunos, a respeito de saber o que é medida, não se reflete integralmente no saber-fazer, pois ao lidar com a medida, dão mais importância ao valor numérico, do que ao que ela realmente representa, o resultado disso é o esquecimento das unidades e dos algarismos significativos; (iii) é necessário melhorar a instrução de

como obter e representar as medidas e de como fazer a leitura em instrumentos de medição antes da realização das práticas. No anexo A temos um exemplar de resolução do questionário e das medidas realizadas por um aluno, denominado A1.

4.2 ETAPA INTRODUTÓRIA

Esta etapa apresenta três destaques, dois negativos e um positivo. O primeiro destaque negativo foi o tempo de duração do documentário, que acabou gerando o desinteresse e uma dispersão parcial dos alunos. O segundo destaque negativo foi à redação sobre o documentário, pois mesmo sabendo que valeria nota, dos 30 alunos que assistiram ao filme, apenas 13 entregaram seus textos, até o último prazo estabelecido. O destaque positivo ficou a cargo dos textos elaborados pelos alunos, abaixo segue alguns exemplos de trechos interessantes que se destacam (ver anexo B):

- A2: *“A medição é o segredo para entender nosso lugar no Universo, [...]. Em nossa civilização atual os processos de medição são bastante complexos, a fim de satisfazerem as necessidades da ciência e da tecnologia.”;*
- A3: *“A medida exata tinha poder de mudar uma nação. [...] A medição levou a lugares que jamais cientistas acharam possível chegar.”;*
- A4: *“[...] Atualmente as unidades de medidas utilizadas e padronizadas pelo sistema internacional de medidas [...]. Ao longo da história da humanidade as unidades eram criadas e adaptadas de acordo com a necessidade dos povos.”;*
- A5: *“[...] O que mais me chamou a atenção, e que eu achei muito interessante é a forma como os métodos de medida foram se modificando até chegarmos à precisão de medida que temos nos dias de hoje.”*

A última citação é uma exceção à regra seguida pelas demais redações, onde as frases que mais se destacam, são evidentemente fragmentos da fala do narrador do documentário, que muito provavelmente foram lembradas ou anotadas pelos alunos. O documentário, apesar de não atingir todos os alunos,

parece ser uma boa estratégia para reforçar ou instalar subsunçores necessários para a etapa de desenvolvimento da UEPS, desde que a esta proposta seja mais bem elaborada dando preferência, a vídeos educacionais interessantes e de curta duração. A produção textual também parece ser uma boa estratégia para verificar e reforçar os conhecimentos prévios dos alunos.

4.3 ETAPA DE DESENVOLVIMENTO

Esta seção apresenta os resultados das atividades avaliadas ao longo dessa etapa da UEPS, as tabelas com a análise dos dados seguem a ordem cronológica em que as avaliações ocorreram. Na tabela 6 estão os dados obtidos através do questionário sobre medidas II, com perguntas e respostas elaboradas pelos alunos sobre os conceitos mais importantes do texto I.

Tabela 6 – Conceitos considerados mais relevantes pelos alunos no texto I.

Conceitos abordados nas questões	Percentual de perguntas e respostas por conceito (%)
Teoria de erros	27,2
Medida	12,8
Algarismos significativos	10,3
Notação científica	10,0
Instrumentos de medida	9,0
Medição	8,6
Grandezas ou unidades	6,2
Física	4,5
Irrelevantes ou incorretos	15,2
Total de alunos participantes: 29	
Total de perguntas e respostas elaboradas: 290	

Fonte: o próprio autor.

De acordo com os dados da tabela 6, a teoria de erros foi o conceito mais abordado pelos alunos e a Física o menos. As perguntas e respostas irrelevantes ou incorretas superam quase todos os demais conceitos considerados relevantes, em conjunto estes totalizam 84,8% das questões elaboradas. Abaixo

temos exemplos perguntas e respostas classificadas como irrelevante, incorretas e relevantes formuladas pelo aluno A6 (ver anexo C):

- Resposta irrelevante:
 - *“O que é erro sistemáticos? R: Podem ocorrer por diversas causas e geralmente se enquadram nos tipos de erros a seguir.”*

- Resposta incorreta:
 - *“O que é medida? R: É muito usada no dia a dia, e devido a sua aplicabilidade em diversas áreas do conhecimento, tais como: matemática, física, filosofia, metrologia, etc., a sua definição é muito complexa.”*

- Pergunta e resposta relevante:
 - *“O que é Física? R: Ciência que estuda as propriedades e processos fundamentais da natureza através do levantamento das leis que regem o universo, a partir de seus constituintes.”*

Os principais resultados obtidos com essa atividade são: (i) a boa aceitação dos alunos à proposta de autonomia na elaboração das próprias questões e respostas; (ii) a capacidade dos alunos de perceber conceitos relevantes em um texto; (iii) a quase inexistência de cópias das questões e respostas entre os alunos, por causa da metodologia de avaliação onde não se considera apenas as respostas corretas, mas sim o que o aluno considerou ser importante na sua leitura e interpretação do texto.

A tabela 7 apresenta os dados coletados através da análise das questões da prova teórica respondida pelos alunos, individualmente, sobre os conteúdos sobre medidas, abordados nas aulas e no texto 1.

Tabela 7 - Dados da prova teórica sobre medidas.

Questões	Total de questões respondidas	Percentual de respostas coerentes (%)
1	22	52,0
2	24	20,0
3	14	0,0
4	11	12,0
5	21	8,0
6	25	20,0
7	21	52,0
		Média: 23,4
Total de alunos participantes: 25		

Fonte: o próprio autor.

Para um melhor entendimento dos resultados da tabela 7, estes foram separados por questão:

- Questão 1: as respostas indicam que pouco mais da metade dos alunos conseguiram identificar a grandeza medida, estima-la e representá-la corretamente, mas destes a maioria não soube estimar a incerteza residual atribuída ao instrumento de medida;
- Questão 2: a maioria dos alunos não conseguiu relacionar a “precisão”, ou melhor ainda, a resolução do instrumento de medição com os Algarismos Significativos que representam a medida realizada com ele;
- Questão 3: destacam-se o baixo índice de respostas e o fraquíssimo desempenho dos alunos, poucos conseguiram acertar os Algarismos Significativos exatos e duvidosos, mas ninguém acertou a notação científica;
- Questões 4 e 5: em ambas destacam-se a ausência de cálculos das medidas indiretas, por meio de uma medida direta;
- Questão 6: apesar de ter o melhor índice de tentativas de respostas, o baixo índice demonstrou que os conceitos relacionados à teoria de erros não foram incorporados satisfatoriamente pelos alunos, mesmo sendo abordado de diferentes modos de representação, a saber, no texto I, no

questionário II, na apresentação de slides, nas demonstrações experimentais e no simulado;

- Questão 7: pouco mais da metade dos alunos não acreditam ser possível obter medidas com precisão absoluta. De acordo com as respostas dos alunos, que acertaram a questão, as duas possíveis fontes de incerteza são os instrumentos de medida, seguido do método utilizado pelo operador. Para os alunos que erram a questão, o principal fator que os levaram a pensar que é possível se obter uma medida com precisão absoluta é a associação do termo “precisão” a resolução do instrumento de medida, que acabou levando-os a crer que “quanto mais preciso for o instrumento, mais precisa será a medida”.

Os resultados dos alunos obtidos com a prova teórica nos permitem concluir que: (i) ainda há falhas na leitura e interpretação das medidas; (ii) os conceitos de algarismo significativos, notação científica e a teoria de não foram incorporados satisfatoriamente; (iii) apresentam dificuldade e/ou aversão aos cálculos teóricos.

A tabela 8 contém as informações obtidas por meio do questionário III, respondidos pelos grupos de alunos. Este instrumento de avaliação possui oito questões que englobam os principais conceitos apresentados no questionário I, que também foram ensinados ao longo da UEPS, através dos textos 1 e 2 e das aulas.

Tabela 8 – Desempenho dos grupos de alunos no questionário III.

Nº da Questão	Total de questões respondidas	Respostas coerentes (%)
1	6	100,0
2	6	100,0
3	5	80,0
4	6	83,3
5	6	83,3
6	6	100,0
7	5	100,0
8	6	16,7
		Média: 82,9
Total de grupos participantes: 6		

Fonte: o próprio autor.

Os dados da tabela 8 demonstram que os grupos de alunos conseguiram responder satisfatoriamente as sete primeiras questões, mas a oitava questão que demandava a busca de um valor específico para o índice de confiança máximo que uma medida pode ter de acordo com a teoria de probabilidade, tiveram mais dificuldades, e somente um dos grupos conseguiu encontrar a resposta no texto.

Os resultados do questionário III e a observação mostram que a proposta de atividade em grupo, baseado em um questionário sobre um texto, acaba promovendo o interesse pela leitura, permite uma maior interação entre os alunos, melhora o interesse e o desempenho destes.

A tabela 9 mostra os dados colhidos através da prova prática, que consistia em um experimento para obtenção da estimativa do tempo de reação humana, bem como seu grau de confiabilidade por métodos estatísticos.

Tabela 9: Dados obtidos com a prova prática.

Grupos	Nº de integrantes	Percentual de valores numéricos coerentes (%)	Percentual de representação de medidas coerentes (%)
1	5	85,0	80,0
2	4	90,0	75,0
3	3	85,0	70,0
4	2	85,0	80,0
5	4	60,0	40,0
			Média: 69,0
Total de grupos participantes: 5			
Total de alunos participantes: 18			

Fonte: o próprio autor.

Com base nos resultados obtidos na tabela 9, constata-se um alto índice de acerto nos valores das medidas diretas e indiretas, e uma sensível melhora na representação das medidas por parte dos grupos de alunos nesta atividade prática.

Os resultados da prova prática e as observações permitem concluir que: (i) essa atividade promoveu a participação ativa dos alunos; (ii) favoreceu a interação entre os alunos e dos alunos com o professor; (iii) mostrou uma sensível melhora na representação das medidas em relação à prática I e a prova teórica; (iv) contribuiu para o interesse dos alunos pelas operações aritméticas.

4.4 ETAPA DE AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM

Analisando os resultados das atividades aplicadas na UEPS pode-se concluir que houve uma evolução conceitual dos alunos em relação ao seu conhecimento prévio verificado na etapa inicial sobre o processo de medição. Contudo, mesmo com essa evolução, ainda persistiam algumas das dificuldades, tais como a percepção da ligação entre a medida e incerteza e a representação correta das medidas. Essas dificuldades, mesmo sendo amenizadas pela mediação dos professores e pela utilização de metodologias e materiais instrucionais potencialmente significativos, ainda persistiram até o encerramento da UEPS. Portanto, nesta reflexão houve aprendizagem, mas que não pode ser chamada de significativa no sentido atribuído por Ausubel, uma vez que, a maior parte dos alunos não compreendeu a relação intrínseca entre a medida e a incerteza.

4.5 ETAPA DE AVALIAÇÃO DA UEPS

A finalidade desta etapa foi promover uma avaliação geral da UEPS, suas etapas, metodologias, recursos didáticos utilizados, bem como a organização e distribuição ao longo da UEPS. Dessa avaliação, têm-se as seguintes constatações:

- É muito importante saber escolher as situações-problema para identificar os conhecimentos prévios. As escolhas do questionário e do experimento foram essenciais para a detecção do saber-fazer prévio, relativos ao tópico a ser abordado. Mas a prática I se mostrou mais eficiente e completa na identificação daquilo que os alunos alegam ter conhecimento, daquilo que realmente sabem;
- A situação-problema introdutória não deve apenas apresentar o tópico de forma geral e abrangente, mas também deve prever espaços de interação entre professor e alunos. Segundo Moran (1995) o vídeo educacional é uma proposta bem interessante para introduzir um novo assunto e motivar os alunos, mas o seu uso precisa seguir alguns critérios, tais como ter curta duração, possuir uma abordagem mais geral e atraente possível, com linguagem cotidiana, ser de fácil acesso, como os vídeos disponíveis na internet, etc. Uma proposta envolvendo o vídeo educacional exige do

professor um bom planejamento, para estabelecer os objetivos da proposta, prever momentos a interação entre professor e alunos, onde deixa claros os objetivos, a forma como os alunos registrarão as informações mais importantes contidas no vídeo e a avaliação do mesmo;

- Após a identificação dos subsunçores “existentes” na etapa inicial, é necessário formular estratégias e materiais que os use nas etapas posteriores como “pontes” para os novos conhecimentos, valorizando o conhecimento prévio do aluno, ao mesmo tempo em que se tenta reformulá-lo. Há também que se pensar em estratégias e materiais capazes de introduzir conceitos inexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Um exemplo disso nesta UEPS é que os alunos apresentaram grande dificuldade em perceber a relação entre a medida à incerteza, que persistiu até o final da UEPS, indicando que tais conhecimentos não foram explorados adequadamente pelas metodologias e materiais instrucionais utilizados. Portanto, ambos podem e devem ser melhorados em uma futura abordagem;
- A necessidade de uma melhor organização sequencial dos conceitos a serem abordados. Para isso, é extremamente importante uma pesquisa bibliográfica específica sobre os conceitos relacionados ao tópico em questão, de preferência com respaldo nas investigações feita pelos pesquisadores da área da educação científica. Essa reflexão é baseada na decisão inadequada de ensinar primeiro Algarismos Significativos e depois notação científica, cujo resultado foi à dificuldade encontrada pelos alunos na resolução de operações aritméticas com os Algarismos Significativos, que continham diferenças de ordem de grandeza de uma mesma unidade de medida.
- As situações-problema escolhidas durante a etapa de desenvolvimento precisam ser, obrigatoriamente, potencialmente significativas. Os exercícios e questionários propostos ao longo da UEPS se mostraram incapazes de promover a aprendizagem significativa, o máximo que se conseguiram foi desenvolver a capacidade de buscar informações e resolver problemas aritméticos, que apesar de necessárias não resultam em uma aprendizagem significativa. Por outro lado, a atividade experimental contribuiu para uma aprendizagem significativa, pois

despertou a curiosidade, estimulou o interesse pela matéria de ensino e desenvolveu habilidades manuais, permitiu o contato direto com a fenomenologia abordada, diminuiu o grau de abstração da teoria através da prática, promoveu a descontração cognitiva e o diálogo, o questionamento, e o interesse pelas formas operativas de resolver determinado problema;

- É primordial saber escolher bem as atividades que servirão de base para avaliação da aprendizagem, durante a aplicação de uma UEPS, principalmente ao final dela, pois possibilita uma melhor compreensão da evolução da aprendizagem dos alunos e na constatação se ela foi ou não significativa. Um exemplo são as atividades experimentais aqui realizadas, que se mostraram mais eficientes, tanto na obtenção do conhecimento prévio, como na avaliação da evolução conceitual conhecimento dos alunos ao final da UEPS.

As “descobertas” anteriormente descritas são frutos da reflexão da práxis e dos resultados obtidos ao longo da UEPS. Elas demonstram que em sua integralidade esta proposta pedagógica não pode ser declarada potencialmente significativa, não apenas pelas falhas apresentadas, mas por em certos momentos gerar confusão, desinteresse e resistência dos alunos. Contudo, a UEPS não pode ser considerada um completo fracasso, pois há algumas estratégias e materiais instrucionais desenvolvidos para ela, que podem ser caracterizados como potencialmente significativos.

Essa avaliação feita sobre a UEPS é muito importante que seja feita em qualquer proposta pedagógica formulada pelo professor, pois ela dá suporte para a reflexão da sua práxis, permitindo mudanças de comportamento, de estratégias, metodologias, materiais instrucionais ou até mesmo o abandono destes, na busca de um processo de ensino aprendizagem mais significativo para os alunos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa experiência com a UEPS trouxe muitos aprendizados, não só pelas conquistas como também pelos fracassos. Em relação às duas indagações que este estudo, ficou de responder por meio dos resultados obtidos, conclui-se que:

- (i) Em relação à quarta questão, a UEPS foi capaz de introduzir conceitos relativos às incertezas associadas aos processos de medição no ensino básico. Essa proposta pedagógica se mostrou adequada ao ensino de Física do nível médio. Mesmo apresentando evidências de aprendizagem durante as etapas, não se pôde dizer que ela promoveu a aprendizagem significativa de todos os conceitos relacionados ao problema da incerteza na medida;
- (ii) A respeito da última questão, não foi possível averiguar se a UEPS é capaz de promover processos de medição mais conscientes, por parte dos alunos, pois isso demandaria o acompanhamento dos alunos em futuras intervenções com a experimentação como foco.

É essencial para o processo de ensino-aprendizagem que o professor reflita a sua práxis constantemente. A elaboração, aplicação e avaliação da UEPS, nos permitiu chegar as seguintes conclusões:

- I.No planejamento são essenciais: a organização sequencial dos conteúdos, a pesquisa de bibliografias, metodologias e materiais diversificados sobre o assunto que será abordado, privilegiando aqueles respaldados pelas investigações em Ensino de Física.
- II.Ao optar por uma prática pluralista o professor já deve ter em mente que terá de relacionar os conceitos com as estratégias e materiais instrucionais diversos, de maneira a proporcionar uma sequência lógica e psicologicamente adequada à estrutura cognitiva do aprendiz, que é fundamental para uma aprendizagem significativa;
- III.O uso da experimentação pelo professor é fundamental para motivar os alunos e facilitar a aprendizagem de conceitos físicos e suas formas operativas;
- IV.As avaliações da aprendizagem do aluno e da proposta pedagógica possibilitam a identificação de estratégias e recursos didáticos que

favorecem ou não o processo de ensino aprendizagem, além de ajudar na reorganização ou modificação destes, quando contatada a necessidade;

V.A UEPS pode ser uma proposta pedagógica interessante como evidenciado nesse estudo, mas ela, por si só, não pode resolver “o problema da incerteza no ensino médio”. Outras propostas pedagógicas respaldadas pelas linhas de investigação em Educação Científica podem contribuir para uma melhor compreensão deste tópico no ensino de Física no nível básico, tornando mais interessante, significativo e conceitualmente adequado ao contexto histórico-social dos alunos e da escola.

As conclusões desfavoráveis desse estudo de modo algum desanimam, pois como vimos sempre é possível melhorar. Por isso, o próximo passo deste estudo é tentar aprimorar a UEPS, para transformá-la em um produto educacional potencialmente significativo, que possa ser usado por professores e alunos de física do ensino médio, para lidar com o problema da incerteza associada ao processo de medição, conhecimento este, essencial para a realização de medições mais conscientes nas atividades experimentais quantitativas.

A UEPS resultante do aprimoramento deste estudo não deverá ser vista, de forma alguma, como um algoritmo a ser seguido, e sim, como uma ferramenta auxiliar disponível para uso do professor e dos alunos nas aulas de Física ou de outras ciências no ensino básico. Espera-se com a formulação deste produto educacional, ajudar a evitar reducionismos e incluir aspectos que favoreçam uma aprendizagem significativa da Física e dos conceitos físicos aqui abordados. Os professores de Física da educação básica ou superior poderão utilizar os produtos educacionais oriundos desse trabalho da forma que acharem mais conveniente, optando apenas por alguns itens, alterando a sua ordem de organização e distribuição dos conteúdos abordados nesse produto educacional, bem como, contribuir para a sua melhora.

REFERÊNCIAS

- ALLIE, S. et al. First year physics students' perceptions of the quality of experimental measurements, **International Journal of Science Education**, London, v. 20, n. 4, p. 447-459, 1998.
- ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. Atividades experimentais no ensino de Física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 176 – 194, jun. 2003.
- AUSUBEL, D.P.; NOVAK, J.D.; HANESIAN, H. **Educational psychology: a cognitive view**. 2ª ed. New York: Holt Rinehart and Winston, 1978.
- _____. **Psicologia educacional**. Tradução de (Eva Nick et al.). 2ª ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980. Tradução de: Educational psychology: a cognitive view.
- BARBOSA, J. O. *et al.* Investigação do papel da experimentação na construção de conceitos em eletricidade no Ensino Médio. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 16, n. 1, p. 105-122, abr. 1999.
- BORGES, A. T. Novos rumos para o Laboratório Escolar de Ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 19, n. 3, p. 291-313, dez. 2002.
- BORGES, A. T.; GOMES, A. D. T. Percepção de estudantes sobre desenhos de testes experimentais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 22, n. 1, p. 71-94, abr. 2005.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio)**. Brasília: MEC, 2000.
- BUFFLER, A. *et al.* The development of first year physics student's ideas about measurement in terms of point and set paradigms. **International Journal of Science Education**, London, v. 23, n. 11, p. 1137-1156, 2001.
- CAMARGO FILHO, P. S. **Estratégia de ensino multirepresentacional aplicada para o desenvolvimento do conceito de medição**. 2014. Tese (Doutorado em Ensino de Ciência e Educação Matemática) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.
- CAUZINILLE-MARMECHE, *et al.* The influence of a priori ideas on the experimental approach, **Science Education**, v. 69, n. 2, p. 201-211, 1985.
- FARIAS, A. J. O. A construção do laboratório na formação do professor de Física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 245-251, dez. 1992.
- FORÇA, A. C. **Estratégia de ensino para aumento de acurácia para o aumento de acurácia das medidas no ensino médio**. 2012. Dissertação (Mestrado em

Ensino de Ciência e Educação Matemática) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

GALIAZZI, M. C. *et al.* Objetivo das atividades experimentais no ensino médio: a pesquisa coletiva como modo de formação de professores. **Ciência & Educação**, Bauru, v.7, n.2, p.249-263, 2001.

GIL-PEREZ *et al.* Para uma Visão não Deformada do Trabalho Científico. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 7, n.2, p. 125-153, 2001.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 1999.

GRANDINI, N. A.; GRANDINI, C. R. Os objetivos do laboratório didático na visão dos alunos do curso de Licenciatura em Física da UNESP-Bauru. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 26, n. 3, p. 251-256, jul./set. 2004.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **FUNDAMENTOS DE FÍSICA**. v. 1., 6ª ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2002. p. 2.

HELENE, O. *et al.* O que é uma medida? **Revista de Ensino de Física**, v. 13, p. 12-29, 1991.

HODSON, D. Experimentos na ciência e no ensino de ciências. **Educational Philosophy and Theory**, v. 18, n. 53, p. 53-66, 1988.

_____. Philosophy stance of secondary school science teachers, curriculum experiences and children's understanding of science: some preliminary findings. **Interchange**, v. 24, n. 1/2, p. 41-52, 1993.

_____. Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. **Enseñanza de las Ciencias**, [s.l.], v. 12, n. 3, p. 299 -313, 1994.

INFOPEDIA, in Língua Portuguesa com Acordo Ortográfico [em linha]. Porto: Porto Editora, 2003-2016. Disponível em: <[http://www.infopedia.pt/\\$algarismos-significativos](http://www.infopedia.pt/$algarismos-significativos)>. Acesso em: 23 nov. 2014.

IPEM-SP. Algarismo Significativo. Disponível em: <http://www.ipem.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=11&Itemid=266>. Acesso em: 10 jan. 2015.

JCGM. **Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement** JCGM 100:2008 (GUM 1995 with minor corrections). Paris: BIPM Joint Committee for Guides in Metrology, 2008.

JURAITIS, K. R.; DOMICIANO, J. B. **Introdução ao laboratório de física experimental – métodos de obtenção, registro e análise de dados experimentais**. Londrina: EDUEL, 2009.

KANARI, Z; MILLAR, R. Reasoning from data: how students collect and interpret data in science investigations, **Journal of Research in Science Teaching**, v. 41, n. 7, p. 748-769, 2004.

KETELE, J.; ROEGIERS, X. **Metodologia da recolha de dados**. Lisboa: Instituto Piaget, 1999.

LABURÚ, C. E.; MAMPRIN, M. I. L. L; SALVADEGO, W. N. C. **Professor das ciências naturais e a prática de atividades experimentais no ensino médio – uma análise segundo Charlot**. Londrina: Eduel, 2011.

LABURÚ, C. E.; BARROS, M. A; SILVA, O. H. M. Multimodos e múltiplas Representações, aprendizagem significativa e subjetividade: três referenciais conciliáveis da educação científica. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 17, n. 2, p. 469-487, 2011.

LABURÚ, C. E.; ARRUDA, S. M; NARDI, R. PLURALISMO METODOLÓGICO NO ENSINO DE CIÊNCIAS. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 9, n. 2, p. 247-260, 2003.

LAVONEN, J. *et. al.* Effect of a longterm in-service program on teachers' beliefs about the role of experiments in physics education, **International Journal of Science Education**, v. 26, n. 3, p. 309-328, 2004.

LUBBEN, F.; MILLAR, R. Children's ideas about the reliability of experimental data, **International Journal of Science Education**, v. 18, n. 8, p. 955-968, 1996.

MACEDO, Z. S. et al. Ciência em foco: um laboratório itinerante de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 140-142, mar. 2000.

MARINELI, F.; PACCA, J. L. A. Uma interpretação para dificuldades enfrentadas pelos estudantes em um laboratório didático de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 497-505, out./dez. 2006.

MATTHEWS, M. R. História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Ciências**, Florianópolis, v. 12, n. 3, p. 164-214, dez. 1995.

MILLAR, R. Towards a role for experiment in the science teaching laboratory, **Studies in Science Education**, n. 14, p. 109-118, 1987.

MORAN, J. M., "O vídeo na sala de aula". In **Revista Comunicação & Educação**. São Paulo, ECA-Ed. Moderna, [2]: 27 a 35, jan./abr. de 1995.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa**. Brasília: UnB, 1999.

_____. Unidade de Ensino Potencialmente Significativo (UEPS). 2016. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~moreira/UEPSport.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2014.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. **Aprendizagem Significativa - A teoria de David Ausubel**. São Paulo: Editora Moraes. 1982.

MOREIRA, M.A.; BUCHWEITZ, B. **Novas estratégias de ensino e aprendizagem: os mapas conceituais e o Vê epistemológico**. Lisboa: Plátano. Edições Técnicas. 1993.

MOREIRA, M.A.; CABALLERO, M.C.; RODRÍGUEZ, M.L. (ORGS.) (1997). Actas del Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo. Burgos, España. pp. 19-44.

MUNFORD, D.; LIMA, M. E. C. C. Ensinar ciências por investigação: em que estamos de acordo? **Revista Ensaio: pesquisa em educação em ciências**, Belo Horizonte, v. 9, n. 1, p. 72-89, 2007.

PASSOS, A. M. F; MOREIRA, M. A. Avaliação do ensino de laboratório: uma proposta alternativa. **Revista Brasileira de Física**, São Paulo, v. 12, n. 2, p. 375-386, jun. 1982.

PENA, F. L. A.; FILHO, A. R. Obstáculos para o uso da Experimentação no Ensino de Física: um estudo a partir de relatos de experiências pedagógicas brasileiras publicados em periódicos nacionais da área (1971-2006). **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v.09, n. 01, 2009.

PEÑA, A. F. V. et al. Curso de aperfeiçoamento em Física experimental: resultados e avaliação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 8, n. 3, p. 205-211, dez. 1991.

PRAIN, V.; WALDRIP, B. An exploratory study of teachers' and students' use of multimodal representations of concepts in primary science. **International Journal of Science Education**, London, v. 28, n. 15, p. 1843-1866, 2006.

SANTOS, A. C. K. *et al.* Influência do instrumento na avaliação de aprendizagem do ensino de laboratório em Física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 3, n. 3, p. 122-133, dez. 1986.

_____ *et al.* Algumas características dos professores de Física do ensino de 2º grau em Porto Alegre. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 2, n. 2, p. 51-56, ago. 1985.

SERÉ, M. G.; COELHO, S. M.; NUNES, A. D. O Papel da Experimentação no Ensino de Física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 20, n. 1, p. 30-42, 2003.

SIAS, D. B.; TEIXEIRA, R. M. R. Resfriamento de um corpo: a aquisição automática de dados propiciando discussões conceituais no laboratório didático de Física no Ensino Médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 23, n. 3, p. 360-381, dez. 2006.

SILVA, I. **História dos Pesos e Medidas**, São Carlos; EdUFSCAR, 2004. 190 p.

SILVA, E. S.; BUTKUS, T. Levantamento sobre a situação do ensino de Física nas escolas do 2º grau de Joinville. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 2, n. 3, p. 105-113, dez. 1985.

VUOLO, J. H. **Fundamentos da Teoria de Erros**, 2ª ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 1992.

WIKIPEDIA. Scientific notation. 2015. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Scientific_notation>. Acesso em: 12 dez. 2015.

ZOMPERO, A. F.; LABURÚ. C. E. As relações entre aprendizagem significativa e representações multimodais. **Rev. Ensaio**. Belo Horizonte. v. 12. n. 03. p. 31-40. set-dez. 2010.

APÊNDICES

APÊNDICE A

PLANO DE TRABALHO DA UEPS APLICADO NO 1° A

O problema da incerteza na medida no ensino médio: uma proposta para o ensino

Objetivos Gerais:

- Propor uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativo (UEPS) que ensine uma forma de trabalhar com a medida e as incertezas a ela associada em atividades experimentais no ensino de Física no Ensino Médio;
- Promover a aprendizagem significativa.

Objetivos Específicos:

- Articular os conhecimentos prévios com os conhecimentos científicos aceitos em Física;
- Demonstrar a importância e a utilidade do Sistema métrico;
- Mostrar como a ciência nos ajuda a conhecer o mundo;
- Ensinar os principais conceitos que envolvem as medidas;
- Explicitar as incertezas associadas aos processos de medição;
- Promover a realização processos de medição mais conscientes nas aulas experimentais.

Duração: 13 aulas

Observação: *Como a UEPS é uma proposta pedagógica sequencial didática, ela foi organizada segundo uma sequência pré-estabelecida de temas.*

1ª Etapa: Verificação conhecimentos prévios dos alunos

Esta etapa é fundamental para a UEPS, pois ela determina o grau de conhecimento que o aluno tem a respeito do tema a ser trabalhado, o que possibilita a exposição de ideias prévias permitindo sua distinção em conhecimento espontâneo (senso comum) e conhecimento científico. Além de permitir uma orientação para as futuras etapas para que possam ser reavaliadas no sentido de promoverem uma aprendizagem significativa a respeito dos conhecimentos a serem ensinados.

Tema 1: O que os alunos sabem?

Duração: 2 aulas

Objetivos: Verificar conhecimentos prévios dos alunos (saber-fazer) a respeito de medidas.

Metodologias: Aplicação de um questionário e de uma atividade experimental sobre medidas.

Questionário I (ver Apêndice C)

A primeira aula será o ponto de partida da aplicação da UEPS e o primeiro contato com os alunos em sala de aula. Portanto, parte da aula será utilizada para uma breve explicação aos alunos a respeito do estudo que será desenvolvido com eles. Em

seguida, será distribuído um questionário sobre medidas (ver Apêndice C), e feita à leitura das instruções nele contida, deixando um espaço para as dúvidas dos alunos.

Na segunda aula será explicado aos alunos que eles farão um experimento sobre medidas, denominado prática I (ver apêndice B), no qual devem medir dois pedaços de barbantes de tamanhos diferentes, e o tempo de reação entre o acionamento e travamento de um cronômetro digital. O modelo do roteiro da prática I (ver Anexo D) não foi utilizado porque tinha informações detalhadas demais, mas seguiram-se as orientações gerais, de acordo com as regras abaixo.

* **Prática I**⁷ (ver Apêndice D)

Regras para realizar as medidas: (i) com duas régua diferentes meçam o comprimento de um barbante pequeno, e depois o comprimento do barbante grande, anote esses valores; (ii) com um cronômetro digital ou celular com função cronômetro digital, meça o tempo de reação entre o acionamento e o travamento, para isso, terá três tentativas, devendo destacar o menor tempo; (iii) anotar os valores obtidos na folha de sulfite disponibilizada, colocando seu nome e a turma; (iv) não compartilhar os valores com os colegas até segunda ordem.

*

2ª Etapa: Apresentação geral do tema aos alunos

Esta etapa servirá para apresentar ao aprendiz o conhecimento que se pretende ensinar, e como preparação do terreno para a introdução dos conhecimentos mais específicos.

Tema 2: A evolução do Sistema Métrico

Duração: 1 aula

Conteúdo: Sistema Métrico

Objetivos: Apresentação geral da medida e verificar o que foi aprendido com a exibição do filme;

Metodologia: Exibição de um documentário que aborda a evolução histórica e social do Sistema Métrico.

Como forma de introduzir o tema, foi escolhido o primeiro episódio de um documentário, intitulado “Precisão: A medida de todas as coisas – Espaço e Tempo”⁸. Esse filme foi escolhido por proporcionar uma visão da evolução histórica e social do Sistema Métrico, demonstrando a sua utilidade, a quantidade de trabalho humano e a persistência necessária para se construir um sistema de medida simples e coerente, como o atual. Após a exibição do filme será avisado aos alunos que eles terão de elaborar uma redação sobre os fatos que mais chamaram sua atenção.

⁷ O intervalo de asteriscos indicam que se trata de informação que será escrita no quadro.

⁸ Para exibição em uma única aula a versão baixada do youtube possuía 77 minutos de duração editada e ficou com aproximadamente 60 minutos, e portanto será consultar o professor da aula seguinte sobre a possibilidade de utilizar ao menos 10 minutos de sua aula. Obs.: Esse vídeo longo pode ser substituído por um vídeo mais curto sobre história das unidades de medidas do telecurso. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=H_46-7Ryg7E&list=PLUuoKHKPIrNIO7MRsHSFWdyAFHpbPE2Gm>. Acesso em: 15 jan. 2015. Ou ainda, por uma apresentação de slides sobre a “História do Sistema Métrico”.



Fonte: YOUTUBE. Disponível em:
 <<https://www.youtube.com/watch?v=MjrUGT5EVHE>>.
 Acesso em: 12 dez. 2014.

* Elabore um texto sobre o filme, com os fatos históricos, instrumentos, ideias, falas do narrador etc., que mais chamaram a sua atenção.

*

3ª Etapa: Aprofundando o tema com os alunos

Nesta fase serão abordados os principais conceitos sobre o tema “a incerteza na medida”. Para isso, foram elaborados dois textos de referência, para serem utilizados em sala de aula. O texto 1, denominado “O que é medida?” (ver apêndice E), aborda os principais conceitos envolvidos em processos de medição. O texto 2, denominado “Como obter medidas confiáveis?” (ver apêndice F), apresenta o conceito de probabilidade e estatística para realizar estimativas de dados experimentais. Nesta etapa, portanto, apresentaremos o tema, diversificando os modos e formas de representação, metodologias e recursos didáticos. O intuito desta variação é atingir a “zona proximal” do aluno, despertando seu interesse pelo assunto abordado, com a finalidade de favorecer uma aprendizagem significativa. Entre as formas diversificadas de abordagem e os recursos didáticos estão as aulas expositivas, o diálogo, a leitura, diagramas, slides, livros, sítios da internet, exercícios, experimentos etc. Como essa etapa possui maior duração, ela foi organizada segundo uma sequência pré-estabelecida de temas.

Duração: 10 aulas

Objetivos:

- Apresentação geral de conceitos específicos a respeito de medidas;
- Promover a percepção das particularidades dos conceitos específicos, e seus reflexos ou influência sobre o conhecimento geral;
- Promover a discussão e a colaboração entre os alunos;
- Verificar a aprendizagem;

Sequência de Aulas na etapa de desenvolvimento da UEPS

Tema 3: A Medida na Física e no Cotidiano

Duração: 1 aula

Conteúdo: “Método científico”, Medida e Unidades.

Objetivos: Fazer uma breve exposição da natureza da ciência e do trabalho do cientista, estabelecendo uma conexão entre a medida, a física e o cotidiano do aluno, promover uma abordagem que privilegie a interação dos alunos.

Metodologias: Aula expositiva sobre a importância da medida para a física e para o cotidiano do aluno e a necessidade do “método científico” para se conhecer melhor o mundo a nossa volta.

A aula será iniciada com a distribuição do primeiro texto de referência aos alunos, intitulado “O que é Medida?”. Após a entrega, será lida o primeiro parágrafo, e para promover um diálogo com os alunos, será pedido a leituras das perguntas, em seguida se indagará aos alunos:⁹

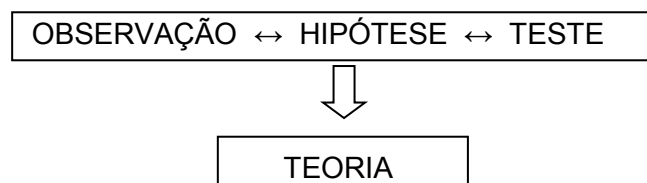
- *Quais delas podem ser medidas?*
- *Quantas delas se pode atribuir um valor real?*
- *As emoções podem ser quantificadas em números? E o peso e as medidas de um campo?*

Os sentimentos e os sentidos (olfato, tato, visão, paladar, audição) podem nos ajudar e muito no dia a dia, mas só eles não bastam para conhecer melhor o mundo a nossa volta. Os cientistas sabem que não se pode confiar apenas nas experiências sensoriais para compreender os fenômenos que ocorrem na natureza.

A Física é a ciência que estuda as propriedades e processos fundamentais da natureza, por meio do levantamento de leis que regem o universo. Para os cientistas da física, denominados físicos, conhecer um dado fenômeno qualitativamente, ou seja, em teoria, não é o suficiente, pois sempre que for possível eles tentarão quantificá-lo, medi-lo. Essa preocupação está expressa nas palavras de um cientista importante do séc. XIX, chamado Lord Kelvin, que resumidamente disse: “tudo aquilo que pode ser medido, pode ser conhecido”.

* Qual o Método utilizado pelos Físicos para investigar a Natureza?

Para elaborar as leis físicas (teorias) os físicos, bem como os cientistas de outros ramos das ciências naturais e engenharias, utilizam o “método científico”, que se baseia nos seguintes pressupostos: observação, hipótese e teste.



*

Para explicar o “método científico” se utilizará um experimento demonstrativo, para verificação da existência da força gravitacional terrestre. Para isso, com um objeto qualquer com a mão, como por exemplo, uma bolinha, um apagador, um giz etc. Será pedido para que os alunos prestem atenção quando o objeto for jogado para cima e observem sua trajetória. Isso se trata de um teste realizado para observar um fenômeno que ocorre todos os dias na natureza. Após essa demonstração fornece-se aos alunos alguns exemplos de perguntas na tentativa de compreender esse fenômeno, tais como:

- *Porque quando o objeto é jogado para cima ele retorna e cai no chão?*
- *Isso ocorre apenas com esse objeto?*
- *Isso ocorre apenas em um lugar específico?*
- *O que atrai todas as coisas para a superfície da terra?*

⁹ Os diálogos entre professor e alunos serão todos colocados em negritos. O diálogo entre professor e alunos não deve se estender muito.

Uma forma de tentar responder essas perguntas é a elaboração de hipóteses ou modelos.

Exemplos de Hipóteses:

- Há algum “ente” desconhecido por trás desse fenômeno!
- Esse fenômeno é causado por uma força da natureza!
- A Terra atrai todos os corpos!

Exemplos de Modelos:

- A velocidade dos corpos em queda varia com o tempo!
- A posição dos corpos varia com o quadrado do tempo!

Para testar suas hipóteses ou modelos os cientistas utilizam a experimentação, procurando reproduzir o fenômeno natural, de maneira artificial, em um laboratório, onde possam controlar as condições para que seja possível medi-lo. A experimentação também pode ajudar na elaboração, na reformulação, ou até mesmo no abandono de algum modelo ou hipóteses que não sejam confirmados pela experiência.

* Para descrever as leis que regem o universo, os cientistas utilizam duas ferramentas muito poderosas: a matemática e a experimentação. Graças a isso não só se pode resumir um fenômeno a uma simples equação, como também é possível medi-lo.

Hoje, graças ao “método científico, sabe-se que o “ente” que atrai todas as coisas em direção a superfície terrestre é à força da gravidade, e esta força não é exclusiva da Terra, mas de qualquer corpo que possua alguma massa”. Portanto, “assim como terra atrai os corpos para si, estes também atraem a Terra”. Atualmente, sabe-se que até mesmo o valor da aceleração da gravidade terrestre, que é de aproximadamente $9,8 \text{ m/s}^2$.

Apesar de ajudarem a desvendar os enigmas da natureza, as leis ou teorias desenvolvidas pelos cientistas não são uma representação perfeita da realidade. Isso ocorre porque os modelos teóricos são meras aproximações dos fenômenos reais, devido à necessidade de simplificação das teorias. Um exemplo é o próprio valor da aceleração da gravidade terrestre, que muda de acordo com a posição geográfica, ele varia de $9,789 \text{ m/s}^2$ no equador, até $9,823$ nos polos.

* Atualmente, para quantificar alguma grandeza mensurável (objeto, substância, fenômeno etc.) os cientistas e diversos ramos da atividade humana, tais como: comércio, indústria, agricultura etc., utilizam alguns códigos e símbolos. Nas tabelas do texto vemos alguns dos códigos e símbolos utilizados pelo Sistema Internacional de Unidades (SI). Após esta explicação será perguntado aos alunos se eles podem citar outros exemplos de unidades que não aparecem nas tabelas, mas que são utilizadas no cotidiano. Espera-se que os exemplos sejam: o centímetro, o quilometro, a tonelada, o grama, a polegada, a caloria, o volt, etc.

Tema 4: Medida

Duração: 1 aula

Conteúdo: Grandezas físicas, Sistema MKS

Objetivos: Apresentar os tipos de grandezas físicas, o MKS e estabelecer a relação com os conceitos de medida e medição;

Metodologia: Aula expositiva sobre as grandezas físicas e sua relação com os significados distintos de medida e medição.

Vimos na aula anterior que uma das formas de se compreender a natureza é por meio do que pode ser medido!

* Medida

Em geral, a medida está associada a uma grandeza física, que é uma propriedade de um fenômeno, de um corpo ou de uma substância que pode ser expressa quantitativamente sob a forma de um número e uma unidade de medida. Uma medida pode ser representada da seguinte forma:

Medida = valor numérico + Unidade

Ex: a massa (m) de uma pessoa → $m = 87 \text{ kg}$

*

A medida de qualquer grandeza física envolve a comparação com uma grandeza precisamente definida. No caso do SI, essas grandezas são as unidades básicas ou derivadas, bem como seus múltiplos e submúltiplos. No primeiro ano basicamente trabalharemos os conteúdos de Mecânica, que é um dos ramos da física, nele se estuda o movimento dos corpos, o sistema MKS (metro-quilograma-segundo), e suas unidades derivadas que pertencem às unidades básicas do SI, na tabela de unidades básicas do SI, são as três primeiras. Na tabela de unidades derivadas todas pertencem ao MKS. Para estimular a participação dos alunos se perguntará:

- Vocês se lembram das medidas realizadas na atividade prática 1?
- Comparando as medidas feitas por vocês com as dos exemplos do texto 1, a forma de representação dos valores medidos e das unidades são iguais ou diferentes?
- A sua representação das medidas, ou seja, o valor, número de casas decimais e unidades, na prática 1, são iguais as do exemplo?

Uma resposta a essa última pergunta é que há sim diferença de valores devido à diferença de tamanho dos barbantes da prática 1 e o dos exemplos, mas a forma de representação (casas decimais e as unidades) dos exemplos do texto 1 estão corretas! Sendo assim, quem não representou da mesma forma anteriormente, agora sabe o jeito certo de fazê-lo.

A representação das medidas nos exemplos do texto 1 utilizam dois conceitos muito importantes, os algarismos significativos e a notação científica, que serão vistos nas próximas aulas.

Ao final da aula, para reforçar a leitura do texto 1, será pedido aos alunos que leiam este texto e que cada um elabore um questionário com 10 perguntas e respostas, sobre assuntos que considerem importantes no texto 1. Este questionário, para fins de avaliação, será chamado de "questionário II" e será recolhido.

*Questionário II (ver Apêndice F)

Elabore um questionário com 10 perguntas e respostas sobre os assuntos mais importantes no texto I.

*

Tema 5: Significado dos números

Duração: 1 aula

Conteúdo: Algarismos significativos

Objetivos: Apresentar a definição de algarismos significativos e as regras gerais para trabalhar com eles e verificar a aprendizagem por meio de exercícios.

Metodologias: Aula expositiva, sobre os conceitos e as regras relacionadas aos algarismos significativos com exemplos e exercícios.

Para introduzir, será feita a leitura do primeiro parágrafo da seção algarismos significativos por um aluno ou pelo professor. Deverá ser enfatizando a ligação entre os algarismos significativos que representam uma medida com o grau de precisão do aparelho de medição. Para então promover uma discussão entre os alunos se perguntará:

- Qual dos instrumentos de medida usados para medir o barbante da prática 1 era o mais preciso, ou seja, que apresenta maior número de casas decimais? A régua centimetrada ou a milimetrada?
- Qual dos algarismos representado nas medidas feitas por você é fruto de palpite? O primeiro, os do meio ou o último?

* Algarismos significativos

Os algarismos significativos são divididos em dois grupos: os corretos e os duvidosos. Os **algarismos corretos** são representados pelos números que são oriundos de medições exatas, ou seja, não são frutos de estimativas ou “chutes”. Já os **algarismos duvidosos**, em geral são representados pelo último algarismo de uma medida, pois este sempre é uma estimativa.

*

Para facilitar o cálculo e a representação de uma medida com algarismos significativos certas normas, como as regras de arredondamento, regras de soma e subtração e regras de multiplicação e divisão, algumas delas já vimos no texto 1.

* **Regras de arredondamento:** servem para representar uma medida ou cálculos de uma medida, artifícios usados para eliminar números que podem ser considerados desnecessários devido ao grau de sua incerteza. As três principais regras são:

- I. Zeros a esquerda de um valor não nulo não são significativos e devem ser eliminados, porque eles podem ser transformados em potências;

Ex: 0,0015 m = $1,5 \cdot 10^{-3}$ m

- II. Zeros a direita são significativos, pois geralmente são frutos da precisão de um aparelho de medida;

Ex: 10,00 s

- a) Se o último algarismo for **menor** que 5, elimina-o;

Ex: 19,624 m² = 19,62 m²

- b) Se o último algarismo for **igual** ou **maior** que 5, acrescenta-se uma unidade ao algarismo anterior, e elimina-o;

Ex: 66,7 kg = 67 kg

*

Após o término da explicação das regras de arredondamento, será feita a leitura das regras de soma e subtração, multiplicação e divisão, resolvendo novamente os exemplos no quadro. E depois serão propostos exercícios de fixação.

* Efetue os cálculos usando as regras para algarismos significativos:

a) $21,7 \text{ s} + 15,83 \text{ s} = 37,53 \text{ s} = 37,5 \text{ s}$

b) $1,5 \text{ m} - 100 \text{ cm} = 150 \text{ cm} - 100 \text{ cm} = 50 \text{ cm}$

c) $3,705 \text{ mm} \times 1,20 \text{ mm} \times 1,57 \text{ mm} = 7,1022 \text{ mm}^3 = 7,10 \text{ mm}^3$

d) $1,5 \text{ km} \div 2,0 \text{ m} = 1.500 \text{ m} \div 2,0 \text{ m} = 750$

e) $75 \text{ km} \div 7,5 \text{ h} = 10 \text{ km/h}$

*

Tema 6: Grande ou pequeno, tanto faz?!

Duração: 1 aula

Conteúdo: Notação científica

Objetivos: Apresentar as regras de notação científica e verificar a aprendizagem através de exercícios.

Metodologia: Apresentação de slides e aula expositiva sobre a importância da notação científica para a ciência e o cotidiano.

Nesta aula, para que os alunos visualizem a aplicação da notação científica, também será exibida na TV multimídia três imagens ampliadas de um multímetro digital, uma fatura de luz e um anúncio comercial de um computador, destacando as unidades. Em seguida, se pedirá aos alunos que olhem a tabela de notação científica para ver se conseguem identificar os símbolos das unidades mostradas nas imagens.

*Posteriormente, será feita a leitura do primeiro parágrafo da seção **notação científica** por um aluno ou pelo professor. Após essa leitura, se pedirá que os alunos olhem novamente os exemplos de medidas do comprimento de um barbante com régua centimetrada e milimetrada do texto 1, porém agora deverão prestar mais atenção a forma escrita das unidades. Feito isso se perguntará:*

- Qual grandeza foi medida?
- Qual o nome da unidade que representa a medida?
- O símbolo que representa a unidade é uma notação científica?

* Notação científica

A física, bem como outras ciências, e os demais ramos da atividade humana, como por exemplo, a indústria e o comércio, utilizam a notação científica como um artifício muito útil para expressar ordens de grandeza muito pequenas ou muito grandes. Exemplos: quilowatts-hora (kwh), gigabyte (Gb), mililitros (ml), quilômetros (km) etc.

Exemplos de formas escritas de representação de notação científica:

$$\begin{aligned} \text{centímetro} &= \text{centi} + \text{metro} = c + m = \text{cm} \\ \text{quilograma} &= \text{kilogram} \text{ (inglês)} = \text{kilo} + \text{gram} = k + g = \text{kg} \end{aligned}$$

*

Refazer os exemplos da seção de notação científica do texto 1, de escrita da forma numeral em notação científica explicando como as regras de transformação e pedindo que observem que alguns valores não têm prefixos e, portanto, podem ser expressos apenas na forma de potência. Por fim, serão propostos exercícios de fixação.

* Escreva os valores das medidas da forma numeral para a forma de potência e depois para prefixo de notação científica:

- a) $0,01 \text{ m} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 1 \text{ cm}$
- b) $3.000.000 \text{ W} = 3 \cdot 10^6 \text{ w} = 3 \text{ MW}$
- c) $0,005 \text{ l} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ ml}$
- d) $4.000.000.000 \text{ bytes} = 4 \cdot 10^9 = 4 \text{ Gb}$
- e) $0,00000000000000000016 \text{ C} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

*

Tema 7: Incerteza na medida

Duração: 1 aula

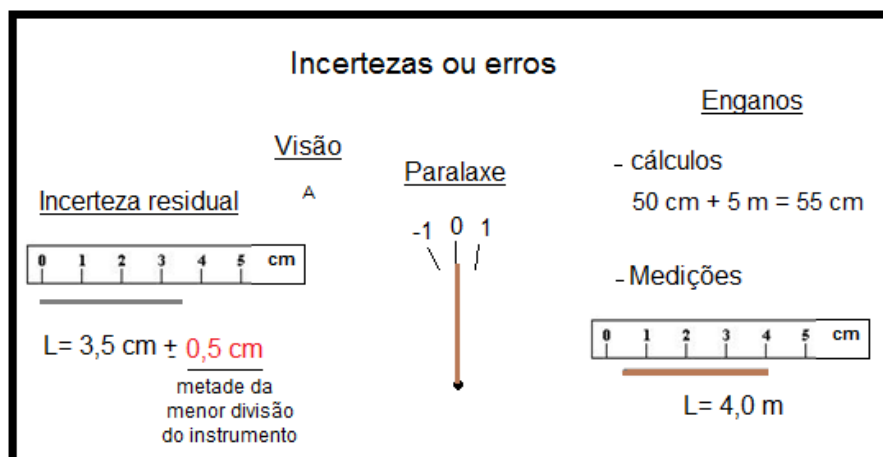
Conteúdo: Teoria de erros

Objetivos: Apresentar o conceito de medição, e as noções básicas de teoria de erros e demonstrar alguns tipos de erros inerentes ao processo de medição.

Metodologias: Aula expositiva, com leitura, apresentação de slides e algumas demonstrações experimentais dos principais tipos de erros existentes em processos de medição.

Esta aula iniciará com a leitura da seção medição, depois será exibida na TV multimídia uma apresentação de slides sobre os principais tipos de erros ocorridos em processos de medição, a saber, os estatísticos e os erros sistemáticos. Além dos slides, haverá também instrumentos exemplificando erros instrumentais, tais como, defeitos de calibração e desgaste em instrumentos de medida, algumas ilustrações feitas no quadro negro, representando as incertezas residuais, os erros observacionais, tais como, paralaxe e visão, e exemplos comuns de enganos, exemplificadas na figura abaixo. A apresentação de ambos deverá envolver os alunos na discussão. A incerteza residual mostrará como obter a incerteza de uma única medição com um instrumento de medida. Para verificar o defeito da visão será feita uma letra "A", bem pequena e se perguntará aos alunos se conseguem enxergá-la nitidamente. Para explicar o erro de paralaxe será feita uma escala no centro do quadro negro e com uma vareta afastada 20 cm do quadro posicionado verticalmente na escala zero se pedirá aos alunos, nos mais diversos pontos da sala que façam a leitura da medida, que deve fornecer valores diferentes. Para mostrar os enganos mais comuns, será feito um cálculo com erros, e um processo de medição errôneo, que ocorrem por desatenção ou falta de habilidade do observador.

*** Incertezas ou erros**



*

Tema 8: O que se aprendeu até agora?!

Duração: 2 aulas

Conteúdo: Medida, Medição, Algarismos Significativos, Notação Científica, Teoria de Erros.

Objetivos: Verificar a aprendizagem dos conceitos apresentados até este ponto da etapa de desenvolvimento.

Metodologia: Aplicação de simulado com exercícios sobre os conceitos abordados, que serão resolvidos pelos alunos com auxílio do professor e uma prova teórica.

Simulado sobre medidas (ver Apêndice G)

Na primeira aula será aplicado um simulado relativo aos conhecimentos vistos nas aulas anteriores, com questões de vestibulares e do Enem, que servirão como preparação à prova teórica individual sobre os conceitos abordados até o presente momento. Após a distribuição e leitura das questões do simulado será dada a opção de sentar-se em grupos de no máximo cinco integrantes e um tempo pré-fixado de 30 minutos para tentar resolver a lista. Após esse tempo será passado o gabarito e feita a resolução dos exercícios com cálculo.

Prova teórica (ver Apêndice H)

Na segunda aula será distribuída a prova teórica, explicadas as regras e feita à leitura das questões. As regras definidas para a prova serão: (i) cada aluno deve tentar resolver a prova sem consultar o material ou o colega ao lado; (ii) a prova só poderá ser entregue depois de decorrido 30 minutos de aula; (iii) cada questão já possui um valor pré-estabelecido.

Tema 9: Como obter uma medida confiável?

Duração: 1 aula

Conteúdo: Noções básicas de probabilidade e estatística em processo de medição

Objetivos: Apresentar conceitos probabilísticos e estatísticos básico para realização de estimativas e confiabilidade em processos de medição e estimular o trabalho colaborativo entre os alunos.

Metodologia: Leitura dos textos I e II e resolução do questionário III, com questões sobre os principais conceitos abordados neles.

No início da aula será distribuído aos alunos o texto 2, intitulado “como obter boas medidas”. Será pedido aos alunos que se juntem em grupos de no máximo cinco integrantes. Será feita a leitura deste texto, até a parte do exemplo. Depois os alunos deverão responder a oito perguntas do questionário III abaixo, sobre os conceitos trabalhados até então. Estas questões foram elaboradas para reproduzir as perguntas do questionário I.

*** Questionário III**

- 1) O que é medida?
- 2) O que é medição?
- 3) É possível obter uma medida com precisão absoluta?
- 4) Quais os tipos de incertezas ou erros encontrados nos processos de medição?
- 5) É fácil obter medidas confiáveis? Explique.
- 6) O que é um processo aleatório?
- 7) O que é necessário para se obter uma boa estimativa?
- 8) Existe um nível máximo de confiança para uma estimativa? Explique.

*

Tema 10: Como obter uma boa estimativa?

Duração: 2 aulas

Conteúdo: Medida, Medição, Algarismos Significativos, notação científica, teoria de erros, estatística básica.

Objetivos: Demonstrar como fazer uma estimativa e determinar sua confiabilidade em uma medição, estimular a colaboração dos alunos no processo de ensino aprendizagem.

Metodologias: Resolução do exemplo de levantamento de estimativa do texto 2 e aplicação de uma atividade experimental.

Na primeira aula será pedido aos alunos que leiam e observem a resolução do exemplo de estimativa do texto 2, e que depois tentem reproduzir os cálculos realizados no texto para obter uma estimativa e o intervalo de confiança da estimativa. Para realizar essa tarefa, os alunos terão de começar a fazer sozinhos, mas poderão contar com o auxílio dos professores e dos alunos que terminarem antes.

* Resolva novamente o exemplo de estimativa dado no texto 2.

*

Prática II (ver Apêndice I)

Nesta aula será realizada uma prova prática em grupos de no máximo 5 integrantes. A avaliação consiste em fazer um experimento para estimar o tempo de reação humana. Antes da distribuição da avaliação, serão formados os grupos e feita a leitura da prova explicando as regras e o que deve ser feito, para a coleta e tratamento dos dados. Para esclarecer o que deve ser feito para coletar os dados desse experimento se pedirá dois voluntários para realizar uma demonstração do mesmo. As regras dessa prova são: (i) todos os integrantes do grupo devem realizar ao menos uma medida de tempo como demonstrado anteriormente; (ii) os dados coletados não podem ser compartilhados com outros grupos; (iii) os grupos só podem trocar informações a respeito do tratamento de dados; (iv) a prova só será entregue após decorridos 30 minutos do seu início.

APÊNDICE B

REGISTRO DA APLICAÇÃO DA UEPS NO 1º A

Os registros aqui descritos são oriundos de observações feitas do professor titular e dos estudantes em sala de aula, consideradas importantes, que foram escritas de forma resumida em um diário de anotações durante a aplicação efetiva da UEPS, tendo como ordem cronológica a sequência de aulas do plano de trabalho. Essas observações também servirão para a avaliação da UEPS, e para melhor especificação foram separadas por etapas.

Etapa de Planejamento

Apesar de não fazer parte efetiva da aplicação, esta etapa teve alguns reflexos importantes sobre as demais etapas que merecem ser mencionadas. Entre elas estão às restrições e dificuldades encontradas para o pleno desenvolvimento e aplicação da UEPS, tais como, a falta de referências bibliográficas de nível médio que abordam a incerteza na medida, as limitações estruturais e de recursos didáticos do colégio, a greve dos professores da rede estadual do Paraná no ano de 2015.

O problema das referências foi solucionado com referências do ensino superior, que tiveram que ser adaptadas ao ensino escolar. Os principais problemas estruturais ficaram a cargo dos laboratórios de ciências e de informática, que não possuíam espaço, mobiliário e equipamentos suficientes para o número de alunos. Essas limitações geraram uma mudança nos planos iniciais, fazendo com que as atividades práticas fossem realizadas na sala de aula, e os equipamentos utilizados fossem construídos com materiais de baixo custo, e aproveitados em mais de uma prática. A intenção de demonstração do tratamento dos dados por meio de software teve que ser abortada, e, portanto não está presente no plano de trabalho.

Para a realização da UEPS, a direção do colégio disponibilizou a sala de aula (equipada com: quadro negro, mobiliários, e uma TV multimídia de 29”), a biblioteca, os laboratório de ciências e informática, um projetor multimídia (de uso comum para a escola toda), giz, apagador, máquina de xerox para impressão de textos e provas (com restrição no número de folhas impressas), uma caixa com 20 calculadoras e folhas sulfite.

Etapa Inicial ou de Verificação de Conhecimento Prévio

Na primeira aula, após a explicação do projeto, surgiram algumas dúvidas, tais como, o que será feito? Vai valer nota? Eu sou obrigado a participar? Etc. Sendo respondido que de acordo com o combinado com a professora titular, todos teriam que participar, e valeria parte da nota do bimestre, e não poderia explicar tudo o que iria acontecer senão poderia influenciar na pesquisa.

Outras dúvidas surgiram após a leitura das instruções do questionário I (ver apêndice B), tais como, sou obrigado a responder? Devo responder todas as perguntas? Se não souber justificar posso deixar em branco? Etc. Ao que foi respondido: que eles não eram obrigados a responder o questionário, mas ele valeria nota, e caso não soubessem justificar poderiam deixar em branco, mas que seria ideal se ao menos tentassem.

Ao término da aula, quando foi solicitado que compartilhassem algumas de suas respostas, isso não ocorreu espontaneamente, sendo necessária a intervenção para que algumas respostas fossem dadas. Após esse estímulo, alguns alunos timidamente haviam respondido que sabiam mais ou menos o que é medida e medição, mas não sabiam explicar direito, outros que para obter boas medidas era necessário tomar cuidado na hora de medir. Muito pouco se falou a respeito dos demais conceitos específicos relativos às

medidas perguntados. Nas perguntas desafio houve uma maior participação, em relação ao primeiro item com as figuras dos instrumentos, a maioria disse que eles serviam para medir as “coisas”. A balança era usada para “pesar” as coisas, o relógio para ver as horas e a trena para medir o tamanho das “coisas”. Em relação ao segundo item, disseram que os meninos da foto poderiam ter usado os passos, o pé ou algum outro objeto para medir o campo. Então foi perguntado por que eles medem e usam chinelos para marcar o tamanho do gol? Ao que disseram, para ficar tudo igual! Encerrada a conversa todos os questionários foram recolhidos.

Na segunda aula, antes da realização das medidas após a leitura das regras, persistiram dúvidas do que era para ser feito, então foi exposto no quadro um exemplo de medida de um barbante pequeno de 5,5 cm com a régua centimetrada de 10 cm, em que uma das extremidades do barbante coincidia com o zero da régua e a outra no meio entre as escala 5 cm e 6 cm, então se falou que eles poderiam estimar um valor para a casa decimal entre 0 e 9 para determinar o valor desse intervalo. Durante a atividade prática as atitudes dos alunos que mais se destacaram foram:

- A dificuldade de alguns alunos em usar as régua para realizar as medidas com os barbantes, porque não sabiam utilizá-las, ou porque queriam segurar ambos ao mesmo tempo para realizar as medidas, ou ainda, porque o barbante grande não dava pra medir com os instrumentos disponibilizados;
- A técnica usada para medir o barbante pequeno foi praticamente à mesma pela maior parte dos alunos, e consistia em posicionar a régua na mesa, esticar levemente o barbante e posicioná-lo em frente à régua fazendo com que uma de suas extremidades coincidissem com o início da escala da régua. Não se descarta a possibilidade de replicação de técnica, pois aqueles que realizavam primeiro as medidas eram observados pelos demais alunos;
- A variedade de técnicas para medir o barbante grande, para exemplificar cita-se apenas três: 1ª) esticar o barbante e medi-lo até limite máximo da régua, e fazer uma marca com dedo ou caneta para distinguir a parte medida da que faltava aferir, depois de medida a parte restante, somavam as duas medidas realizadas; 2ª) dobrar o barbante grande ao meio e medir com a régua e multiplicar pelo fator 2 o valor medido; 3ª) esticar os barbantes sobre a folha de sulfite e traçar riscos marcando o comprimento e as extremidades dos barbantes e na própria folha medir os comprimentos;
- A medida do tempo de reação, pois ao invés de efetuarem apenas as três medidas sugeridas inicialmente, os alunos começaram a fazer diversas medidas, para competir entre si para ver que era o mais rápido;

Faltando 10 minutos para o término da aula, mesmo com alguns alunos ainda realizando medidas foi pedido que eles compartilhassem os resultados. Após a troca de resultados os alunos chegaram as seguintes conclusões:

- os barbantes pequenos tinham “quase” o mesmo tamanho;
- os barbantes grandes possuíam tamanhos um pouco diferentes;
- e o tempo de reação varia de um aluno para o outro;
- o tempo de reação pode ser melhorado com as repetições.

Chegar a este resultado só foi possível porque após o término da primeira aula por sugestão da professora, resolveu-se aumentar o número de kit's confeccionados de 6 para 10, devido à quantidade de alunos, e ao pouco tempo de duração de uma aula, que era de 50 minutos. Ao final da aula as folhas com os dados obtidos foram recolhidas. A medida de tempo nem seria realizada devido à falta de cronômetros digitais, mas foi perguntado aos alunos se eles tinham celulares com a função cronômetro, ao que alguns responderam que sim, então se pediu se eles poderiam compartilhá-los, com os colegas e disseram que sim!

Esta aula teve como principal destaque, a participação ativa dos alunos durante a atividade prática. Isso fez com que a professora se interessasse mais pelo projeto, e pedisse o roteiro com essa prática.

Etapa Introdutória

Na terceira aula, durante a exibição do documentário, se destacaram duas atitudes distintas por parte dos alunos. No início do filme houve certa empolgação e interesse dos alunos, porém, decorridos 20 minutos de filme, alguns alunos já estavam cansados, outros dispersos, em conversas, andanças, celulares etc. Nesse momento, a professora pediu para parar o vídeo e informou-lhes que era para prestar atenção ao filme, pois depois deveriam fazer uma redação sobre ele e que valeria nota. Pouco tempo depois de reiniciado o vídeo a maioria dos alunos se dispersaram novamente, mas a aula prosseguiu assim mesmo. Ao final da exibição do documentário, os alunos foram novamente avisados, que teriam que elaborar um texto sobre o filme, e que ele seria usado como avaliação. Os alunos reclamaram muito da longa duração do vídeo, e de ter que fazer uma redação sobre ele.

Etapa de Desenvolvimento

Nesta etapa ocorreram dois imprevistos significativos, um deles é aumento do número de aulas, o outro foi à greve dos professores do estado do Paraná. Esta fase havia sido planejada para ocorrer em 10 aulas, mas acabou tendo 13 aulas, devido ao não cumprimento da ementa no tempo planejado. E a greve dos professores fez com que esta etapa sofresse uma interrupção de quase 3 meses.

A pedido da professora titular, em todas as atividades que envolvessem cálculos foram disponibilizadas as calculadoras da escola, o uso de calculadoras próprias ou de celular com essa função. As observações feitas ao longo desta etapa foram divididas e seguem a sequência de aulas do plano de trabalho.

Na quarta aula após a leitura das perguntas descritas no início do texto de referência, intitulado “O que é Medida?”, as respostas dos estudantes resumidamente expressavam que, não dá para medir sentimentos como o amor, felicidade ou tristeza, pois eles não têm medida, mas que sim, o peso dá para medir com uma balança e o campo de futebol tem medidas oficiais.

Um destaque dessa aula foi à curiosidade dos alunos durante a explicação sobre o “método científico”, para obtenção da teoria da força da gravidade. Eles não entendiam a superfície da Terra como referencial, pois tinham como referência que os objetos “caem para baixo”. Para explicar o porquê desse referencial não ser o mais adequado, foi feito um diagrama no quadro de um círculo, com bonequinhos distribuídos pelo círculo. Foi explicitado aos alunos que o círculo representava a Terra, e os bonecos quatro pessoas, elas estavam segurando pedras na mão, e ao jogar cada um à sua pedra realmente a viam “subir para cima” e depois “cair para baixo” até atingir o chão. Então foi perguntado a eles: “para vocês, quem viu de fora as pedras caindo, elas “caem para baixo” ou caem em direção à superfície da Terra? Após essa indagação eles responderam que haviam entendido o porquê.

Ao final da aula, quando solicitado aos alunos que citassem as unidades, isso não ocorreu de forma espontânea, então para criar um estímulo citou-se as unidades do MKS e suas aplicações no dia a dia, assim mesmo, a algum custo citaram mais algumas unidades como: quilômetro, grama, centímetro, milímetro e litro.

Na quinta aula relembrou-se o visto na aula anterior, que tanto a ciência, quanto os ramos da atividade humana necessitam de códigos e símbolos para caracterizar e expressar as grandezas. Nessa aula, os alunos tinham dificuldade de entender o porquê de a medida necessitar de um valor e uma unidade de referência. Para clarear as ideias foram propostas as seguintes situações: se imaginem num supermercado onde todos os produtos não apresentassem a quantidade do produto em suas embalagens, ou ainda, se entrando numa loja de venda de computadores, nenhum tivesse informação sobre características dos computadores, tais como capacidade de memória e velocidade do processador. Você compraria nesses lugares? Após essa indagação aparentemente eles entenderam a necessidade das medidas serem representadas na forma de valores e unidades.

No fim da aula, quando proposto aos alunos que elaborassem um questionário com dez perguntas e respostas sobre o texto 1, eles não entenderam bem a proposta, então foi explicitado que eles deveriam ler o texto e criar 10 perguntas e respondê-las com base no que acharam mais importante na leitura do texto.

Na sexta aula, quando foi solicitado aos estudantes que se lembrassem das medidas realizadas na atividade prática 1 e comparassem com as medidas dos exemplos do texto 1, eles alegaram não lembrar mais o que tinham feito. Posteriormente foi explicado, que com base numa análise prévia das medidas realizadas na prática I, ninguém tinha acertado todas as medidas, devido ao desconhecimento de certos procedimentos que devem ser seguidos durante um experimento. Estes procedimentos, denominado procedimento experimental, implicam em identificar a grandeza ou grandezas (corpo, fenômeno, substância) a serem medidas, especificar os instrumentos que a mediram e descrever como foram realizadas as medidas, ou seja, os passos seguidos para se obter as medidas. Os exemplos presentes no texto 1 foram apresentados como sendo uma espécie de modelo a ser seguido nas próximas medições.

Na sétima aula, durante a explanação sobre os Algarismos Significativos, os alunos pareciam confusos. Para exemplificar pediu-se que olhassem para os exemplos do texto novamente, mas com atenção e se indagou: qual é o número da escala da régua que se pode afirmar com exatidão o tamanho da vareta? Após as respostas, foi explicado que eles eram os Algarismos Corretos ou Exatos, pois não se tinha dúvidas sobre eles fazerem parte da medida. Depois se perguntou sobre o restante que faltava medir, entre os intervalos das escalas, tem como visualizar essa fração e afirmar com total certeza esse valor? Responderam que não, então com base nas respostas, foi dito que se eles estão em dúvida que tipo de Algarismo esse número seria só poderia ser o Algarismo Duvidoso, que é sempre o último número do valor que representa uma medida.

Nessa aula também se destacou as dúvidas sobre algumas particularidades das regras de soma, subtração, multiplicação e divisão com Algarismos Significativos, que apareceram nos exemplos. As principais indagações foram:

- Porque não se pode somar múltiplos e submúltiplos da mesma grandeza de ordens diferentes sem que haja uma conversão para a mesma unidade?
- Porque na multiplicação os expoentes das unidades aumentam?
- Porque na divisão de mesma grandeza as unidades somem e apenas o número permanece?
- Porque se pode multiplicar e dividir unidades de grandezas diferentes, mas não se pode somá-las ou subtraí-las?

Na oitava aula, após breve exposição das dúvidas da aula passada, que não surtiu muito efeito, continuou-se com o planejado. Como não havia dado tempo de escrever a lista com exercícios sobre Algarismos Significativos, ela foi retomada. Durante o prazo estabelecido para fazerem os exercícios, apenas alguns tentavam fazer ou procuravam os professores para tirar suas dúvidas, mas a maioria estava dispersa e nem arriscavam fazê-los. Ao inquirir o porquê à maioria não estava fazendo nada, eles responderam que era porque não entendiam o que era para fazer, ou que era difícil, ou não queriam fazer etc. Para ajudar esses alunos, foram feitos alguns exemplos diferentes dos que estavam no quadro para explicar como fazer os exercícios, mas não adiantou, pois a maioria esperou pela correção para copiar os resultados.

Na nona aula foi abordado à notação científica, mesmo após a leitura e visualização das imagens, os alunos não conseguiram identificar nem a unidade de centímetro representada nos exemplos do texto 1 como sendo um submúltiplo do SI. Então, foram feitos os seguintes exemplos de escritas de representação de notação científica:

$$\text{centímetro} = \text{centi} + \text{metro} = c + m = \text{cm}$$

$$\text{quilograma} = \text{kilogram (inglês)} = \text{kilo} + \text{gram} = k + g = \text{kg}$$

Após esses exemplos, os aprendizes começaram a entender e a relacionar os prefixos de notação científica com as unidades do SI. Ao explicar as regras de representação de notação científica e fazer os exemplos, os alunos novamente apresentaram dificuldades em entender como um monte de zeros pode ser escrito na forma de potências. Essa dúvida não foi sanada naquele momento, pois se achava que durante a resolução das listas de exercícios elas seriam solucionadas. Mas infelizmente só houve tempo de escrever os exercícios e fazer alguns exemplos, depois foi dito aos alunos que tentassem resolver, e que isso valeria nota se entregassem na aula seguinte.

No início da nona aula foi perguntado aos alunos se alguém tinha conseguido resolver os exercícios, mas ninguém respondeu, então foi dito que seria dado mais uma chance de tentar resolver e ganhar a nota. Após este comunicado, deu-se início ao novo conteúdo que abordava os principais tipos de erros existentes nos processos de medição. Para esta aula, além do que já estava planejado, também foram levadas duas provetas de 250 ml, uma calibrada e outra descalibrada, e três régua milimetradas, sendo duas com escalas não coincidentes e uma desgastada. As partes desta aula que mais chamaram a atenção dos alunos foram:

- a demonstração com as provetas, pois elas apresentavam uma variação de aproximadamente 10 ml de uma para outra com a mesma amostra;
- o erro de paralaxe, pois estudantes em pontos distintos da sala viam o ponteiro indicando escalas diferentes;
- o defeito de visão, pois alguns alunos que não usavam óculos não conseguiam ver nitidamente a letra desenhada. Foi sugerido a esses alunos que procurassem um oftalmologista, para que fosse avaliado melhor cada caso.

Na décima aula foi perguntado aos alunos se alguém tinha feito os exercícios de notação científica e novamente ninguém se manifestou, então foi desconsiderada a nota e eles foram resolvidos no quadro com as devidas explicações. Nesta aula foi realizado um simulado sobre os conhecimentos vistos nas aulas anteriores, com uma lista de exercícios que serviria como preparação para a prova. Ao ver as questões do simulado e mesmo sabendo que elas possuíam respostas, ele acabou gerando certa preocupação na turma. Dada à opção de fazerem sozinhos ou em grupo se percebeu uma melhor recepção da proposta, mas alguns alunos preferiram ficar sozinhos. Durante o tempo restante da aula se observou que alguns alunos e grupos tentavam resolver a lista de exercícios, trocando ideias e solicitando a ajuda dos professores sobre o que devia ser feito nos exercícios, mas a maioria deles estava inerte, apenas conversando. Devido ao pouco tempo, ninguém conseguiu terminar os exercícios.

Na décima primeira aula deu-se mais tempo para que os alunos tentassem fazer o simulado, mas devido ao comportamento dos alunos e dos grupos inertes o prazo foi reduzido, para dar tempo de resolver a lista de exercícios explicando o objetivo de cada questão e os conhecimentos necessários para resolvê-las, novamente a grande maioria só copiou os resultados. Após as explicações, os alunos falaram que os exercícios eram muito difíceis, principalmente os que envolviam cálculos.

Na décima segunda aula foi aplicado um teste, que era praticamente idêntico ao simulado, para tentar ajudar os alunos com a nota do bimestre. A princípio, todos os alunos pareciam estar tentando responder as questões, mas mesmo antes do prazo mínimo estipulado para entrega da prova, já tinha alguns querendo devolvê-la, ao que foi solicitado que se esforçassem um pouco mais para tentar responder o que pudessem ou aguardassem o tempo com a folha virada para baixo. A maioria dos alunos entregou o teste no prazo mínimo estipulado.

Na décima terceira aula, depois de feita a leitura e explanação do texto 2, intitulado “Como obter boas medidas?”, foi solicitada a formação de grupos para aplicação de um questionário de oito perguntas sobre os dois textos de referência, que poderiam ser consultados. Os grupos começaram a ler os textos e discutir entre si quais os trechos que continham as respostas, mas nenhum deles conseguiu terminar, então foi dada a opção de se reunirem depois e entregarem na próxima aula valendo nota.

Na décima quarta aula solicitou-se aos grupos de alunos o questionário respondido, mas nem todos entregaram, então foi dada mais uma aula de prazo para entregá-lo. Nesta aula foi dada uma tarefa que consistia em reproduzir os cálculos da estimativa e o seu intervalo de confiança do exemplo do texto 2, tarefa essa que poderia ser cumprida individualmente ou em grupo e serviria como preparação para a prova. Oferecida às alternativas, alguns alunos preferiram ficar sozinhos, enquanto outros se juntaram em grupos. Novamente se observou que alguns tentavam refazer os cálculos enquanto outros só conversavam. Ao final do prazo estabelecido para refazerem os cálculos estes foram revisados e explicados.

Na décima quinta aula, um pouco antes da aula, a professora comentou que talvez os alunos não conseguiriam fazer os cálculos, e que estava preocupada se o tempo seria suficiente para terminar a prova. Iniciado o teste prático, em que os alunos deveriam fazer a estimativa do tempo de reação humana, as suspeitas da professora estavam se confirmando. Para minimizar a dificuldade observada, foi falado aos integrantes dos grupos que caso surgissem dúvidas poderiam chamar os professores nas suas mesas. Oferecida essa opção, todos os grupos solicitaram a presença dos professores para sanar suas dúvidas, cujas principais foram: em relação à coleta de dados, cálculos e formas de representar os valores na tabela. Essa intervenção fez com que todos os grupos conseguissem terminar o teste a tempo. Nesta aula se destacou a participação e o envolvimento dos alunos, tanto na coleta dos dados, como nos cálculos.

Etapa de Avaliação da Aprendizagem

Todas as atividades desenvolvidas durante a UEPS seriam avaliadas, mas por uma exigência formal da equipe pedagógica do colégio, ao menos duas atividades avaliativas deveriam ser por escrito, para serem registradas. Essas avaliações deveriam obedecer aos seguintes critérios: serem impressas, o valor somatório de ambas deveria ser de no mínimo 60 pontos, com possibilidade de avaliações de recuperação. Para se cumprir essa exigência, duas avaliações foram desenvolvidas: a prova teórica sobre conceitos do texto 1 valendo 30 pontos, e uma prova prática sobre conceitos do texto 1 e 2, valendo 30 pontos. Os 40 pontos restantes foram distribuídos entre a participação e no desempenho dos alunos nas demais atividades propostas. A pontuação foi distribuída da seguinte forma: participação (10 pontos), a atividade prática I (5 pontos), os questionários I e II (5 pontos cada) e o questionário III (10 pontos).

APÊNDICE C

QUESTIONÁRIO I

Questionário sobre medidas I

As perguntas abaixo fazem parte de um teste que avaliará o seu conhecimento sobre medidas. Você deverá assinalar uma das opções “sim” ou “não” e justificar sua resposta. Não é necessário pesquisar em livros ou internet as respostas certas, as justificativas devem ser respondidas individualmente, usando apenas a sua opinião ou seu conhecimento a respeito do assunto perguntado.

1) Você sabe o que é medida? () Sim ou () Não

2) Você sabe o que é medição? () Sim ou () Não

3) Você sabe o que pode vir a ser a incerteza de uma medida? () Sim ou () Não

4) Você sabe quais erros podem ocorrer durante uma medida? () Sim ou () Não

5) Você sabe o que são algarismos significativos e algarismos duvidosos? () Sim ou () Não

6) Você sabe o que é notação científica? () Sim ou () Não

7) Você sabe o que é grandeza física? () Sim ou () Não

8) Você sabe quais são os procedimentos necessários para obter uma boa medida (ou medida confiável)? () Sim ou () Não

9) Você sabe por que é importante saber medir? () Sim ou () Não

10) Você sabe o que é Física? E o que um Físico faz? () Sim ou () Não

11) Perguntas de Desafio: “responda se puder”!!

a) Em que situações do dia-a-dia os instrumentos de medidas abaixo podem ser usados?



Trena



Relógio



Balança

b) Na figura abaixo as crianças estão jogando bola num campo improvisado na rua. Sabendo que eles não utilizaram nenhum instrumento de medição, como eles fizeram para medir o tamanho do campo e do gol?



APÊNDICE D

PRÁTICA I

Objetivo

Verificar o conhecimento prático dos alunos a respeito de medidas.

Metodologia

Cada aluno deverá aferir o comprimento de dois pedaços de barbante de tamanhos diferentes¹⁰ com régua de menor escala diferente, e medir o tempo de reação humana com um cronômetro.

Materiais

- 01 régua milimetrada de 30 cm
- 01 régua centimetrada¹¹ de 30 cm
- 01 pedaço de barbante pequeno (de comprimento ~ 15 cm)
- 01 pedaço de barbante grande (de comprimento > 30 cm)
- 01 cronômetro digital

Procedimento Experimental

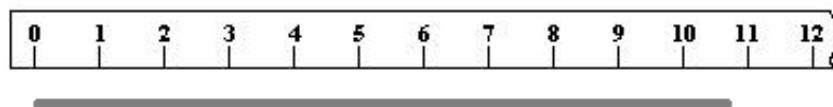
Prática 01: Medida de comprimento com régua centimetrada

Usando uma régua com menor escala em centímetros, os alunos deverão medir respectivamente o comprimento de dois pedaços de barbante de tamanhos desconhecidos. Será instruído aos alunos que eles poderão atribuir ao intervalo da menor escala um fator de incerteza 0 a 9. Um exemplo é apresentado da figura 1, cujo valor do comprimento aproximadamente é $L = 10,8\text{cm}$. Os alunos devem anotar esses valores especificando o objeto medido e o instrumento utilizado.

- Valor medido do comprimento do barbante pequeno: $L_p =$

- Valor medido do comprimento do barbante grande: $L_g =$

Figura 1 - Esquema para medir o barbante pequeno com uma régua centimetrada.



Prática 02: Medida de comprimento com régua milimetrada

Usando uma régua com menor escala em milímetros, os alunos deverão fazer a mesma dinâmica da prática anterior. Um exemplo é apresentado da figura 2, cujo valor do comprimento é aproximadamente $L = 10,74\text{cm}$.

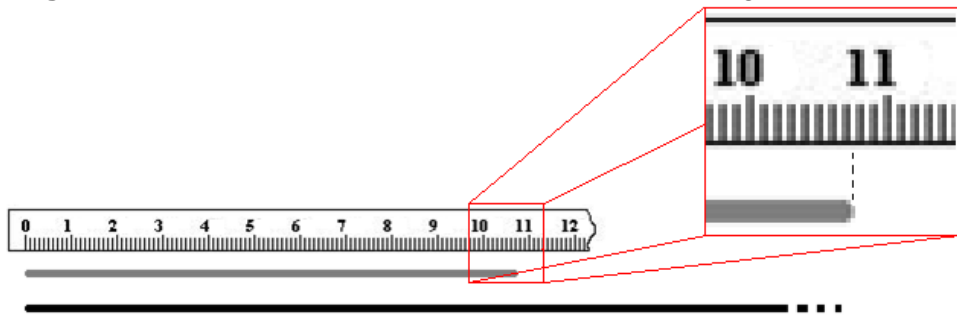
- Valor medido do comprimento do barbante pequeno: $L_p =$

¹⁰ Para confeccionar os barbantes pequenos, meça com uma régua milimetrada de 15cm pedaços de barbante levemente esticado e corte. Os barbantes grandes devem ser maiores que a régua milimetrada de 30 cm, e possuir tamanhos diferentes entre si, essa diferença preferencialmente maior que 1 cm.

¹¹ Réguas centimetradas são muito difíceis de serem encontradas, mas é possível fazer uma a partir de uma régua milimetrada, bastando raspar com cuidado as marcas de milímetros.

- Valor medido do comprimento do barbante grande: $L_g =$

Figura 2 - Esquema para medir o barbante com uma régua milimetrada.



Prática 03: Medida de tempo de reação humano

Usando um cronômetro digital (pode ser do celular do aluno ou do professor), medir o intervalo de tempo entre o acionamento e travamento o mais rápido que puder em três tentativas, anotando apenas a mais rápida.

Discussão dos resultados

Ao final das práticas os alunos deverão compartilhar os resultados e discutir entre si as dificuldades encontradas no uso do instrumento de medida, do objeto a ser medido, as táticas usadas para medir, os valores e as formas de representação, etc.

APÊNDICE E

TEXTO 1: “O QUE É MEDIDA?”

Introdução

A palavra “medida” é muito usada em situações do dia-a-dia. E devido à sua aplicabilidade em diversas áreas do conhecimento, tais como: Matemática, Física, Filosofia, Metrologia, etc., a sua definição é muito complexa. Para exemplificar essa diversidade de usos, imagine que lhe sejam feitas as seguintes perguntas:

- Qual a medida do seu amor por sua mãe?
- Quanto você pesa?
- O quanto você está feliz?
- Quais as medidas de um campo de futebol?

Aparentemente todas as perguntas tem relação com a palavra medida, mas há que se fazer uma diferenciação entre elas. Há duas dessas perguntas que podem ser respondidas com um valor, pois são mensuráveis, ou seja, passíveis de serem medidas. Já outras duas não! Isso porque não são mensuráveis, pois não é possível medi-las ou atribuir-lhes um valor.

Para poder aferir (medir) as coisas, o homem criou uma infinidade de instrumentos. Estes instrumentos podem ser usados, na construção civil, no comércio, em hospitais, na indústria, e em centros de pesquisa científica, etc. Alguns instrumentos são bem conhecidos, como por exemplo, a balança, a régua, o relógio, etc. Já outros nem tanto, como o paquímetro, o micrômetro, goniômetro, etc. A diferença entre instrumentos de medidas antigos e os modernos, não está tanto na aplicação, e, sim adoção de padrões de unidades estabelecidos por uma comunidade científica.

Para a Física, ciência que estuda as propriedades e processos

fundamentais da natureza através do levantamento das leis que regem o universo a partir dos seus constituintes fundamentais e as interações entre os mesmos, uma das formas de se compreender a natureza é a através do que pode ser medido. Pensamento este em acordo com uma afirmação usada por um famoso cientista inglês, chamado Lord Kelvin, que no final do séc. XIX, resumidamente disse assim: “*o que pode ser medido pode ser conhecido!*”.

Com o desenvolvimento científico e tecnológico passou-se a exigir, cada vez mais, medições precisas e diversificadas. Isso fez com que modificações fossem feitas ao longo do séc. XX, no Sistema Internacional de Unidades (SI), que se tornou mais complexo e sofisticado. Atualmente há sete grandezas físicas fundamentais ou unidades básicas no (SI), apresentadas na tabela abaixo, aprovadas pelo BIPM.

Unidades Básicas do Sistema Internacional (SI)		
Grandezas Físicas Fundamentais	Unidades	
	Nomenclatura	Símbolo
Comprimento	Metro	m
Massa	Quilograma	kg
Tempo	Segundo	s
Corrente Elétrica	Ampère	A
Temperatura Termodinâmica	Kelvin	K
Quantidade de Matéria	Mol	mol
Intensidade	Candela	cd

Luminosa		
----------	--	--

Além das unidades básicas do SI, existem as grandezas físicas derivadas, baseadas em unidades básicas do SI. Na tabela abaixo, temos algumas das unidades derivadas do SI.

Unidades Derivadas das Unidades Básicas do Sistema Internacional (SI)		
Grandezas Físicas Derivadas	Unidades	
	Nomenclatura	Símbolo
Área	Metro quadrado	m ²
Volume	Metro cúbico	m ³
Densidade	Quilograma por metro cúbico	kg/m ³
Velocidade	Metro por segundo	m/s
Aceleração	Metro por segundo ao quadrado	m/s ²
Força	Newton = Quilograma-metro por segundo ao quadrado	N = kg.m/s ²
Energia	Joule = Quilograma-metro quadrado por segundo ao quadrado	J = kg.m ² /s ²
Potência	Watt = Joule por segundo	W = J/s = J.s ⁻¹
Frequência	Hertz	Hz = 1/s = s ⁻¹

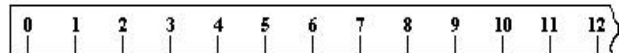
Medida

No caso da Física e outras ciências denominada exatas, como a Química, a Matemática, a medida ou medida física, geralmente está associada a um valor numérico ou quantitativo de uma ou mais grandezas físicas, como por exemplo, o comprimento, o tempo e a massa, entre outras. Ou ainda, da relação entre

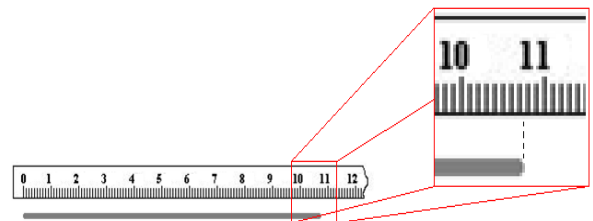
grandezas físicas derivadas, como por exemplo, área, velocidade, força, energia, etc. A medida de qualquer grandeza física envolve a comparação com um valor unitário precisamente definido da mesma grandeza, em que a magnitude dessa grandeza física deve incluir um número e uma unidade. Abaixo está um exemplo de representação de uma medida:

Medida = Número + Unidade

Exemplo 1: A figura abaixo ilustra uma forma de se determinar o comprimento L de um pedaço de barbante com uma régua centimetrada, ou seja, com menor escala em definida em centímetros. Comparando o tamanho do barbante com as escalas da régua, pode se estimar a medida aproximada para o comprimento do barbante é L=10,8cm, ou seja, o valor acompanhado de sua unidade de medida.



Exemplo 2: Outra possibilidade de medir o mesmo barbante poderia ser tentada usando uma régua milimetrada, ou seja, com menor escala em milímetros é possível medir o mesmo objeto, atribuindo-lhe um valor decimal menor, ou seja, mais preciso, que o da régua centimetrada, cujo valor do comprimento do mesmo barbante é aproximadamente L= 10,75cm.



Os exemplos acima para representar os valores da medida usam dois conceitos muito importantes que são: a notação científica e os algarismos significativos.

Notação Científica

Em Física a notação científica é utilizada para expressar as medidas de grandezas físicas muito grandes ou muito pequenas. Essa notação se utiliza de números acompanhados da potência de base 10 com expoentes de números inteiros que podem ser positivos (múltiplos) ou negativos (submúltiplos), seguidos da unidade de medida que os representa. Ou ainda, pode-se substituir as potências, pelo seu prefixo correspondente conjuntamente com a unidade de medida que o representa, ou nomenclaturas que tem a mesma equivalência. A tabela abaixo mostra alguns exemplos de prefixos mais utilizados:

Tabela de prefixos de Notação Científica			
Múltiplos	Potência	Prefixo	Símbolo
1	10 ⁰	--	--
10	10 ¹	Deca	Da
100	10 ²	Hecto	H
1000	10 ³	Kilo	K
1000.000	10 ⁶	Mega	M
1000.000.000	10 ⁹	Giga	G
1000.000.000.000	10 ¹²	Tera	T
...
Submúltiplos	Potência	Prefixo	Símbolo
0,1	10 ⁻¹	Deci	--
0,01	10 ⁻²	Centi	C
0,001	10 ⁻³	Mili	M
0,000001	10 ⁻⁶	Micro	μ
0,000000001	10 ⁻⁹	Nano	N
0,000000000001	10 ⁻¹²	Pico	P
...

Exemplos de uso da notação científica em medidas de grandezas físicas:

- Velocidade da luz (c):

$$c = 300.000.000 \text{ m/s} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

- Comprimento de onda da luz vermelha (λ_v)

$$\lambda_v = 0,000000650\text{m} = 650 \cdot 10^{-9}\text{m} = 650\text{nm}$$

ou ainda,

$$\lambda_v = 650 \cdot 10^{-9}\text{m} = 650\text{nm (nanômetros)}$$

Algarismos significativos

Os algarismos significativos, como o próprio nome já diz são algarismos (números) que tem um significado. Para a Física, este significado, está associado à precisão (ou limite) do instrumento de medida. Em geral, o limite de medida (menor escala) de um aparelho de medida é representado pelo aumento de casas decimais. Um exemplo disso é o caso em que se mediu um barbante com dois instrumentos diferentes e estes apresentaram uma concordância no valor 10, mas após isso nota-se a suas diferenças. O que ambas tem em comum é a incerteza na determinação do último número, pois ele é resultado de uma estimativa ou do famoso “chute”, devido ao limite imposto pelo aparelho de medida. Este último número é denominado algarismo duvidoso, mas nem por isso ele deixa de ser significativo!

Para trabalhar com algarismos significativos existem algumas regras a serem seguidas, que são as regras de arredondamento, soma, subtração, multiplicação, divisão:

- Soma e Subtração: entre os valores que se somam ou subtraem-se, deve-se escolher o menor número casa decimal utilizar para representar o resultado da soma ou da subtração. No caso de haver unidades idênticas, deve ser reescrita no resultado. Exemplos:

$$10,8 + 10,75 + 10,755 = 32,3$$

$$10,8\text{cm} + 10,75\text{cm} + 10,755\text{cm} = 32,3\text{cm}$$

$$10,8\text{cm} + 10,75\text{m} + 10,755\text{cm} = \underline{32,3\text{cm}}$$

- **Multiplicação e Divisão:** entre os valores que se somam ou subtraem-se, deve-se escolher o menor número casa decimal utilizar para representar o resultado da soma ou da subtração. No caso de haver unidades idênticas elas devem ser reescrita no resultado com expoente equivalente ao número de unidades. Exemplos:

$$10,8 \times 10,75 = 116,1$$

$$10,8\text{cm} \times 10,75\text{cm} = 116,1\text{cm}^2$$

Medição

Medida e medição muitas vezes são utilizadas como sinônimos, mas há uma diferença entre elas. A medição é o ato ou efeito de medir, enquanto a medida é resultado de uma medição. Uma medição objetiva determinar, portanto, com uma especificação apropriada do mensurando, do método e do procedimento de medição para obter uma medida.

Um dos princípios básicos da física é que não se pode medir uma grandeza física com precisão absoluta. Isso implica que toda medição está sujeita a incertezas ou erros, que podem estar associadas à precisão do aparelho de medida ou as condições impostas ao processo de medida. Alguns instrumentos de medida possuem a mesma aplicação, por exemplo, a régua, o paquímetro e o micrômetro, podem ser utilizados para medir o comprimento de objetos. E apesar da mesma aplicação, cada um desses aparelhos tem um uso adequado devido ao limite de alcance (precisão). Citando novamente o exemplo, da régua centimetrada, e da régua milimetrada,

podemos expressão o resultado de uma medição, da seguinte forma:

$$\text{Resultado da medição} = \text{medida} \pm \text{incerteza}$$

Exemplos:

- Medida com régua centimetrada:

$$L = 10,8 \text{ cm} \pm 0,5 \text{ cm}$$

- Medida com régua milimetrada:

$$L = 10,75 \text{ cm} \pm 0,05\text{cm}$$

Obs.: No caso de uma única medida como nos exemplos acima a incerteza é determinada pelo valor da menor escala das réguas dividida pelo fator 2, por uma questão de probabilidade.

Incertezas ou Erros

Em um laboratório científico, onde o ambiente é controlado e os instrumentos são adequados, podem ocorrer erros de vários tipos em um processo de medição. Imagine numa sala de aula ou laboratório escolar! De acordo com a *Teoria de Erros*, tanto num laboratório científico como numa sala de aula, os erros podem ser separados em dois grandes grupos que são os *erros estatísticos* e *erros sistemáticos*:

- **Erros Aleatórios ou Estatísticos:** resultam de variações aleatórias no valor de uma grandeza medida (cujo valor é conhecido), devido a fatores que por algum motivo não podem ou não são controlados.

Ex: ao realizar n medidas de uma massa qualquer em uma balança analítica de precisão (que é bem sensível) num laboratório, as vibrações de moléculas do ar no ambiente podem alterar os valores medidos, resultando em erros aleatórios ou estatísticos nas medidas.

- **Erros Sistemáticos:** podem ocorrer por diversas causas e geralmente se enquadram nos tipos de erros a seguir:

- Erros Instrumentais: em geral está associado erro de calibração do instrumento (por parte do fabricante), utilizado para realizar a medida. Outros fatores podem afetar a calibração de um instrumento de medida, tais como: desgaste, condições ambientais (temperatura e pressão) entre outros fatores;

Ex: uma proveta de vidro utilizada para medir um volume pode ter erros de calibração de fábrica e por isso vem impresso na proveta a sua capacidade e sua precisão (menor escala) e erro associado, em geral relacionado à menor escala ($1000\text{ml} \pm 2\text{ml}$);

- Erros Teóricos: na realização de uma experiência geralmente é necessário usar um modelo teórico para obter informações de grandezas físicas associadas a um determinado fenômeno da natureza. A rigor um cientista, sempre tenta utilizar um modelo ou lei (linguagem matemática o mais simples possível), ou seja, na forma de uma equação, e nem sempre essa equação consegue descrever uma situação real, e sim um comportamento aproximado do fenômeno estudado. Nesse caso se diz que esse modelo é insuficiente para as contas da complexidade que o fenômeno exige, mas mesmo assim, não deixa de ser uma boa aproximação. Há ainda, casos em que não se consideram conversões de unidades, correção de fatores relativísticos, etc.

Ex: ao realizar experiências de queda livre de um corpo as equações envolvidas deveriam levar em conta a ação da resistência do ar sobre o corpo em queda, o que fatalmente influenciará nos resultados em grandezas como: a posição, a velocidade, e a aceleração do corpo em queda;

- Erros Ambientais: é um erro devido a efeitos do ambiente sobre a experiência. Fatores ambientais tais como temperatura, pressão, umidade, aceleração da gravidade, campo magnético terrestre, ondas eletromagnéticas (ondas de rádio, microondas, luz, radiação cósmica, etc.), e outros podem introduzir erro nos resultados de uma medida. Seja por interferir diretamente no material analisado ou na alteração da calibração do instrumento de medida.

Ex: Ao se tentar medir o norte geográfico com uma bússola, se deve levar em conta o campo magnético ambiental gerado por campos magnéticos locais, que podem desviar a agulha da bússola para outra direção que não a direção desejada. Outro exemplo é tentar medir o comprimento de um objeto com uma régua de metal em um ambiente cuja temperatura não pode ser controlada, pois tanto o objeto quanto a régua sofrem uma dilatação (aumento de tamanho) quando a temperatura é muito alta;

- Erros Observacionais: é um erro devido a falhas de procedimento do observador. Ou seja, falta de habilidade, deficiência física (defeitos de visão), etc. Na leitura dos instrumentos de medição destacam-se os seguintes erros por parte do observador: o erro de paralaxe, que é quando se erra na leitura de escala de instrumentos devido ao não alinhamento correto entre o olho do observador e a escala de instrumento (em geral analógico); o tempo de reação humana, que pode influenciar na tomada de tempo de algum fenômeno estudado;

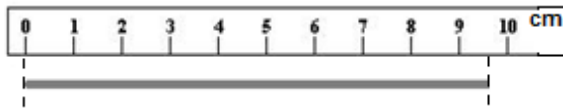
- Erros Grosseiros ou Enganos: não são erros do ponto de vista da *Teoria de Erros*. Enganos podem ocorrer, por exemplo, na leitura de um instrumento ou na realização de cálculos, na utilização errônea de unidades, esquecimento de anotação de dados, etc.

APÊNDICE F

SIMULADO SOBRE MEDIDAS

Medidas e Medição

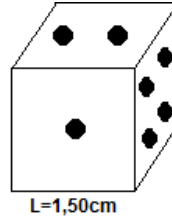
- 1) No diagrama abaixo temos, uma régua graduada em centímetros medindo um pedaço de barbante: a) identifique a grandeza medida e b) indique valor medido pelo instrumento e seu erro.



- a) _____
b) _____
- 2) Usando uma régua graduada em milímetros, uma pessoa mediu o mesmo pedaço de barbante da questão 1. Para o valor encontrado assinale a alternativa correta.
- a) 9,75cm c) 10,0cm e) 9,750cm
b) 9,7cm d) 10,00cm

Algarismos Significativos e Notação Científica

- 3) Ao medir a massa (m) de uma pena um estudante, verificou que esta pesava 0,0015 g. a) Nesta medida quantos são os algarismos significativos, indique os algarismos corretos e o algarismo duvidoso. b) Escreva a massa da pena em notação científica.
- 4) A figura abaixo é de um dado, cujo comprimento (L) foi medido com uma régua milimetrada. Calcule a Área superficial total (A) e o Volume (V) do dado. Expresse corretamente esse valor.
- Fórmulas: $A = 6 \cdot L^2$ e $V = L^3$



- 5) Sabendo que o dado da questão 4, tem uma massa (m) de 28,8g, calcule a densidade (d) do dado.

- Fórmula: $d = \frac{m}{V}$

- a) 8,520 g/cm³ c) 8,5 g/cm³ e) 8,60 g/cm³
b) 8,52 g/cm³ d) 8,6 g/cm³
- 6) (Cesgranrio) Um estudante deseja medir o comprimento de sua mesa de trabalho. Não dispondo de régua, decide utilizar seu maço de cigarros como padrão de comprimento. Verifica então que o comprimento da mesa equivale a 13,5 estojos. Chegando ao colégio, mede com uma régua o comprimento do maço de cigarros, achando 8,9cm. O comprimento da mesa será corretamente expresso por:
- a) 120,15cm c) $1 \cdot 10^{-2}$ cm e) 10^{-2} cm
b) 120,2cm d) $1,2 \cdot 10^{-2}$ cm
- 7) Escreva as medidas em Notação Científica, ou seja, na forma potências e prefixos (quando houver).
- a) 3600m=
b) 602.300.000.000.000.000.000.000 mol⁻¹=
c) 0,000007A=
- 8) Escreva as Notações Científicas, na forma potências e numeral.
- a) 3mg=
b) 450nm=
c) 102,1MHz=

9) (Unifor-CE) Considerando que cada aula dura 50 min., o intervalo de tempo de duas aulas seguidas, expresso em segundos, é de:

- a) $3,0 \cdot 10^2$ c) $3,6 \cdot 10^3$ e) $7,2 \cdot 10^3$
 b) $3,0 \cdot 10^3$ d) $6,0 \cdot 10^3$

Incertezas ou Erros

10) Relacione enumerando corretamente as frases de acordo com os tipos de erros:

(1) Erros Estatísticos; (2) Erro Instrumental; (3) Erro Observacional; (4) Erros Ambientais; (5) Erros Grosseiros; (6) Erros residuais.

I - () em algumas situações se torna extremamente difícil de se eliminar o erro de uma medida.

II - () ao utilizar uma balança de precisão para medir a massa de uma amostra e esta apresenta valores flutuantes (variam) devido algum fator.

III - () um operário utilizou uma trena para medir o tamanho de batente para assentar uma porta, não encontrando a trena, ele utilizou outra e percebeu que a porta ficou maior.

IV - () um serralheiro que desconhece a teoria de erros acha aferiu corretamente um vão razoavelmente grande, onde seria colocada uma grade, isso num dia quente. Depois na serralheria mensurando com o mesmo instrumento fez a grade num dia frio, ao tentar colocar a grade esta ficou menor que o vão.

V - () Um estudante usando uma mesma régua centimetrada mediu a largura de uma folha de papel sulfite, ele expressou esse comprimento em 28,10m.

VI - () A paralaxe é um erro cometido pelo não alinhamento correto do ângulo de visão.

11) Das afirmações abaixo, quais correspondem aos erros sistemáticos instrumentais.

- I. Falta de habilidade com instrumentos
 II. As condições ambientais influenciam as medidas;

III. O tempo de reação pode atrapalhar na medida de tempo.

- a) apenas I. c) apenas II. e) apenas III.
 b) I e II. d) I, II e III.

13) (ENEM 2012) Um consumidor desconfia que a balança do supermercado não está aferindo corretamente a massa dos produtos. Ao chegar a casa resolve conferir se a balança estava descalibrada. Para isso, utiliza um recipiente provido de escala volumétrica, contendo 1,0 litro d'água. Ele coloca uma porção dos legumes que comprou dentro do recipiente e observa que a água atinge a marca de 1,5 litros e também que a porção não ficara totalmente submersa, com 1/3 de seu volume fora d'água. Para concluir o teste, o consumidor, com ajuda da internet, verifica que a densidade dos legumes, em questão, é a metade da densidade da água, onde, $\rho_{\text{água}} = 1 \text{ g/cm}^3$. No supermercado a balança registrou a massa da porção de legumes igual a 0,500 kg (meio quilograma). Considerando que o método adotado tenha boa precisão, o consumidor concluiu que a balança estava descalibrada e deveria ter registrado a massa da porção de legumes igual a:

- a) 0,073 kg. c) 0,250 kg. e) 0,750 kg.
 b) 0,167 kg. d) 0,375 kg.

Gabarito

1) a) comprimento (L). b) $L = 77,0 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$.

2) A alternativa correta é a letra b.

3) a) são 3 algarismos significativos, dos quais o 2 e o 5 são os algarismos corretos e apenas o 4 é o algarismo duvidoso.

b) $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ g}$ ou $1,5 \text{ mg}$.

4) Solução: $A = 6 \cdot (1,5 \text{ cm})^2 = 13,50 \text{ cm}^2$
 $V = (1,5 \text{ cm})^3 = 3,38 \text{ cm}^3$

5) A alternativa correta é a letra b. Solução:

$$d = \frac{28,8 \text{ g}}{3,38 \text{ cm}^3} \cong 8,52 \text{ g/cm}^3$$

6) A alternativa correta é a letra b. Solução:

$$L = 13,5 \text{ estojos} \times 8,9 \text{ cm/estajo} = 120,15 \text{ cm} = 120,15 \text{ m}$$

- 7) a) $3,6 \cdot 10^3 \text{ m} = 3,6 \text{ km}$.
 b) $6,023 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.
 c) $7 \cdot 10^{-6} \text{ A} = 7 \mu\text{A}$.
- 8) a) $3 \cdot 10^{-3} \text{ g} = 0,003 \text{ g}$.
 b) $450 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 0,00000045 \text{ m}$.
 c) $102,1 \cdot 10^6 \text{ Hz} = 102.100.000 \text{ Hz}$.
- 9) A alternativa correta é a letra d.
- 10) I - (6); II - (1); III - (2); IV - (4); V - (5); VI - (3).

11) A alternativa correta é a letra c.

12) A alternativa correta é a letra d. Solução:

$$1 \text{ l} = 1000 \text{ ml} \quad (1 \text{ ml} = 1 \text{ cm}^3)$$

$$m_{\text{legumes}} = d_{\text{legumes}} \cdot V_{\text{legumes}} = \frac{d_{\text{água}}}{2} \cdot \frac{3}{2} V_{\text{água}}$$

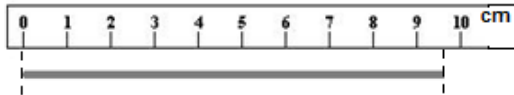
$$m_{\text{legumes}} = \frac{1 \text{ g/cm}^3}{2} \cdot \frac{3}{2} \cdot (500 \text{ cm}^3) = 375 \text{ g}$$

$$m_{\text{legumes}} = 0,375 \cdot 10^3 \text{ g} = 0,375 \text{ kg}$$

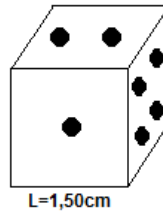
APÊNDICE G

PROVA TEÓRICA

- 1) No diagrama abaixo temos, uma régua graduada em centímetros medindo um pedaço de barbante: a) identifique a grandeza medida e b) indique valor medido pelo instrumento e seu erro. (valor: 5,0)



- a)
b)
c)
- 2) Usando uma régua graduada em milímetros, uma pessoa mediu o mesmo pedaço de barbante da questão 1. Para o valor encontrado assinale a alternativa correta. (valor: 4,0)
- a) 9,75cm c) 10,0cm e) 9,750cm
b) 9,7cm d) 10,00cm
- 3) Ao medir a massa (m) de uma pena um estudante, verificou que esta pesava 0,0015g. a) Quantos são os algarismos significativos, os algarismos corretos e os algarismos duvidosos. b) Escreva a massa da pena em notação científica. (valor: 5,0)
- 4) A figura abaixo é de um dado, cujo comprimento (L) foi medido com uma régua milimetrada. Calcule a Área superficial total (A) e o Volume (V) do dado e expresse corretamente esses valores. (valor: 5,0)



- 5) Sabendo que o dado da questão 4, tem uma massa (m) de 28,8g, calcule a densidade (d) do dado e assinale a resposta correta. (valor: 5,0)

- Fórmula: $d = \frac{m}{V}$

- a) 8,520 g/cm³ c) 8,5 g/cm³ e) 8,60 g/cm³
b) 8,52 g/cm³ d) 8,6 g/cm³
- 6) Relacione enumerando corretamente os termos de acordo com os tipos de erros: (valor: 4,0)

(1) Erro Instrumental; (2) Erro Observacional; (3) Erros Ambientais; (4) Erros Grosseiros.

I - () Paralaxe.

II - () Calibração.

III - () Temperatura.

IV - () Engano.

V - () Tempo de Reação.

VI - () não é erro do ponto de vista da teoria de Erros.

VII - () Campo eletromagnético.

VIII - () Desgaste.

- 7) De acordo com o que você estudou até aqui sobre medidas é possível obter uma

- Fórmulas: $A = 6 \cdot L^2$ e $V = L^3$

medida com precisão absoluta? Justifique sua resposta. (valor: 2,0)

APÊNDICE H

TEXTO 2: “COMO OBTER MEDIDAS CONFIÁVEIS?”

Introdução

Obter medidas confiáveis não é uma tarefa fácil. Isso porque todo o processo de medição está sujeito a incertezas ou erros, que o torna um processo aleatório ou probabilístico. Apesar disso, é possível sim obter uma boa estimativa de medidas físicas com certo nível de confiança de acordo com a Probabilidade e Estatística.

Probabilidade

Um processo aleatório é qualquer fenômeno que pode ter diferentes resultados finais, quando repetido em certas condições predeterminadas. Nem sempre é possível se obter essas condições predeterminadas. O fato de que algumas condições não são ou não podem ser repetidas é o que torna o processo aleatório.

Os diferentes resultados finais podem ser definidos como eventos. Mas os diferentes resultados finais podem também ser arbitrariamente reunidos em grupos que também podem ser definidos como eventos.

- **Exemplo 1:** Ao jogar um dado com as mãos, podemos obter seis resultados finais diferentes, uma vez que um dado possui seis lados e cada lado representa um resultado final diferente: 1, 2, 3, 4, 5, 6. Estes seis resultados finais diferentes podem ser definidos como eventos. Mas esses eventos também podem ser definidos de maneiras diferentes, agrupando resultados finais, como por exemplo, um grupo A indicando os números pares e um grupo B de números ímpares, o que implicaria em dois resultados finais diferentes.

$$\begin{array}{c} 1 \quad 3 \quad 5 \\ \hline \text{evento A} \end{array} \quad \text{ou} \quad \begin{array}{c} 2 \quad 4 \quad 6 \\ \hline \text{evento B} \end{array}$$

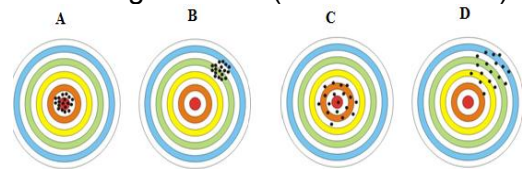
Se colocássemos uma máquina para jogar os dados é bem provável que conseguíssemos reproduzir as condições que favorecessem resultados finais iguais!

Mas ao se jogar o dado com as mãos muito provavelmente não conseguiria reproduzir as condições que possibilitem um resultado final igual, é justamente isso que torna o fenômeno aleatório.

O que isso quer dizer é que não importa o quanto se possa controlar as condições de um determinado fenômeno há sempre uma probabilidade de ele fornecer um resultado final (ou evento) diferente do esperado.

Precisão e Acurácia

Precisão e acurácia são termos utilizados em medidas. A palavra “precisão” é usada como referência ao erro estatístico, enquanto que a palavra “acurácia” se refere ao erro total que a soma dos erros sistemáticos e estatísticos. Um exemplo disso é a figura abaixo, que representam alvos de tiro atingido por um atirador. No alvo A, os tiros estão bem próximos entre si (precisos) e estão bem próximos do centro do alvo (acurados). No alvo B, os tiros estão bem próximos entre si (precisos), mas eles estão longe do alvo central (menos acurados). No alvo C, os tiros estão mais afastados entre si (menos precisos), mas estão bem distribuídos ao redor do centro do alvo (acurados). No alvo D, os tiros estão afastados entre si (menos precisos), e estão longe do alvo (menos acurados).



Em termos estatísticos, obtemos uma “boa estimativa” de um valor alvo x_0 , quando um conjunto de dados $\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ correspondente à medida da mesma grandeza física de x_0 . Supondo que os valores do conjunto $\{x_i\}$, onde $i=1, 2, 3, \dots, n$, obedecessem a uma distribuição normal centrada em x_0 e se os dados são estatisticamente independentes uns dos outros, então

$$x_M = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{N} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{N}$$

onde, x_M é o valor médio do conjunto de dados e N é o número total de dados. O valor médio é uma “boa estimativa” do valor alvo x_0 .

Para se obter dados com uma boa estimativa, há duas condições necessárias:

- O nº de dados experimentais precisa ser suficientemente grande;
- Os dados experimentais precisam ser estatisticamente independentes o que quer dizer que a coleta dos dados (medidas) deve ocorrer de formas diferentes, como por exemplo, quando um mesmo objeto é medido por pessoas diferentes ou quando um mesmo objeto é medido por instrumentos de medidas diferentes capazes de medir essa grandeza.

Para obtenção do resultado de um processo de medição, além de saber fazer uma estimativa da grandeza medida, é fundamental que sejamos capazes de responder a seguinte questão: “quão boa é esta estimativa?” Para responder a esta questão, precisamos estimar quão longe o nosso resultado pode estar do valor alvo da grandeza medida, ou seja, qual valor se deve atribuir à incerteza. Isto pode ser representado da seguinte forma:

$$\Delta_{x_M} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N d_i^2}{N(N-1)}}$$

onde Δ_{x_M} é desvio padrão médio, $d_i = x_i - x_M$ é o desvio de cada medida em relação ao valor médio e N é o número total de medidas.

O resultado de uma medição pode ser expresso da seguinte forma:

Re resultado da Medição = $\left(\begin{matrix} \text{Estimativa} \\ \text{do valor} \\ \text{da grandeza} \end{matrix} \right) \pm \left(\begin{matrix} \text{Estimativa de quão longe o} \\ \text{valor da grandeza medida pode} \\ \text{estar do "valor verdadeiro"} \end{matrix} \right)$

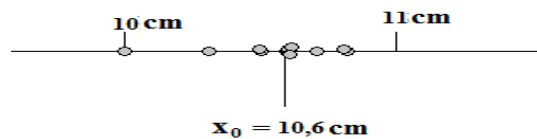
ou,

$$x = x_M \pm \Delta_{x_M}$$

onde x é o resultado da medição, x_M é o valor médio e Δ_{x_M} é a incerteza do valor médio.

Mesmo com todos esses procedimentos, ainda não estaríamos absolutamente seguros de que o valor alvo da grandeza medida esteja dentro do intervalo $\{x_m - \sigma_{x_m}, x_m + \sigma_{x_m}\}$. Isso ocorre porque de acordo com a teoria de probabilidade, ainda que o conjunto de dados $\{x_i\}$ fosse composto de um número infinito de medidas, e que eles obedecessem a uma distribuição normal centrada em x_0 , e que eles fossem estatisticamente independentes, o nível de confiança máximo seria de 68%.

- Exemplo: Na tabela a seguir, temos um conjunto de medidas do comprimento de um objeto, cujo valor alvo fornecido é 10,6cm. As medidas foram obtidas de maneira estatisticamente independentes, pois foram realizadas por 10 alunos diferentes e 10 réguas centimetrada diferentes.



i	x_i (cm)	$d_i = x_i - x_m$ (cm)	d_i^2 (cm)
1	10,0	-0,54	0,2916
2	10,3	-0,24	0,0576
3	10,8	0,26	0,0676
4	10,8	0,26	0,0676
5	10,6	0,06	0,0036
6	10,7	0,16	0,0256
7	10,5	-0,04	0,0016
8	10,5	-0,04	0,0016
9	10,6	0,06	0,0036
10	10,6	0,06	0,0036
	$\sum x_i = 105,4$	$\sum d_i = 0$	$\sum d_i^2 = 0,5240$

- $N = 10$ medidas.

- O valor médio x_m , é dado por:

$$x_M = \frac{105,4}{10} = 10,54 = 10,5 \text{ cm}$$

- O desvio padrão médio, é dado por:

$$\Delta_{x_M} = \sqrt{\frac{0,5240}{10 \cdot (10 - 1)}} = \sqrt{0,00582222...}$$

$$\Delta_{x_M} = 0,0763033... \text{ cm} = 0,1 \text{ cm}$$

- Logo o resultado das medidas indica que o valor do comprimento do barbante é:

$$\mathbf{x = 10,5 \text{ cm} \pm 0,1 \text{ cm}}$$

- O intervalo de confiança desse processo de medição é:

$$\mathbf{x = \{10,4 \text{ cm}; 10,6 \text{ cm}\}}$$

Através desse resultado vemos que o processo de medição produziu uma boa estimativa boa, uma vez que o valor alvo está dentro do intervalo de confiança.

APÊNDICE I
QUESTIONÁRIO III

- 1) O que é medida?
- 2) O que é medição?
- 3) É possível obter uma medida com precisão absoluta?
- 4) Quais os tipos de incertezas ou erros encontrados nos processos de medição?
- 5) É fácil obter medidas confiáveis? Explique.
- 6) O que é um processo aleatório?
- 7) O que é necessário para se obter uma boa estimativa?
- 8) Existe um nível máximo de confiança para uma estimativa? Explique.

APÊNDICE J

PROVA PRÁTICA

Experimento: Estimativa do tempo de reação médio humana**Introdução**

Geralmente um ser humano leva certo tempo para reagir a algum estímulo. Uma forma de estimar o tempo de reação humana (T) pode ser calculado utilizando-se uma régua de acordo com a fórmula abaixo:

$$T = \sqrt{\frac{2H}{g}} \quad (1)$$

onde H é a altura de queda da régua antes de ser pega, $g=1000\text{cm/s}^2$ é a aceleração da gravidade. Podemos reescrever a equação 1, como:

$$T = \sqrt{\frac{H}{500}} \quad (2)$$

Tabela de valores medidos e calculados				
i	Altura	Tempo	Desvio	Desvio quadrático
	H_i (m)	T_i (s)	$d_i = T_i - T_m$ (s)	$(d_i)^2 = d_i \cdot d_i$ (s ²)
1				
2				
3				
4				
n = 5				
		$\sum T_i =$	$\sum d_i =$	$\sum (d_i)^2 =$

Fórmulas:

$$T_i = \sqrt{\frac{H_i}{500}} \quad (3)$$

$$T_m = \frac{\sum T_i}{n} \quad (4)$$

$$\Delta T_m = \sqrt{\frac{\sum (d_i)^2}{n \cdot (n - 1)}} \quad (5)$$

- Estimativa do tempo de reação humana: $T = T_m \pm \Delta T_m$.

$$T = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{2cm}}.$$

ANEXOS

ANEXO A

DADOS DO QUESTIONÁRIO I DO ALUNO A1

Questionário sobre medidas I

As perguntas abaixo fazem parte de um teste que avaliará o seu conhecimento sobre medidas. Você deverá assinalar uma opção "sim" ou "não" e justificar sua resposta. As questões devem ser respondidas individualmente, e da forma mais sincera possível, usando apenas a sua opinião e/ou seu conhecimento, ou seja, o que você acha correto, portanto não é necessário pesquisar em livros ou na internet as respostas certas.

1) Você sabe o que é medida? sim ou () Não

é a dimensão ou comprimento de algo.

2) Você sabe o que é medição? () sim ou Não

sim, porque não estudei isso.

3) Você sabe o que pode vir a ser a incerteza de uma medida? () sim ou Não

acho que é uma medida errada.

4) Você sabe quais erros podem ocorrer durante uma medida? () sim ou Não

porque não lembro

5) Você sabe o que são Algarismos significativos e Algarismos duvidosos? () sim ou Não

porque não lembro

6) Você sabe o que é notação científica? () sim ou Não

porque não lembro.

7) Você sabe o que é grandeza física? () sim ou Não

mas acho que é a dimensão de corpo ou da massa de algo ou alguém.

8) Você sabe quais são os procedimentos necessários para obter uma boa medida (ou medida confiável)? sim ou () Não

usando ferramentas, régua ou outras coisas de medir.

9) Você sabe por que é importante saber medir? () sim ou Não

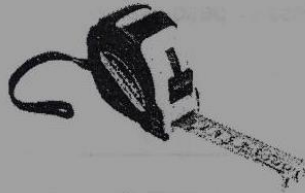
acho que é importante pois vamos precisar dessa no futuro.

10) Você sabe o que é Física? E o que um Físico faz? () sim ou Não

eu acho que é uma matéria de físico ou acho que estuda isso

11) Perguntas de Desafio: "responda se puder"!!

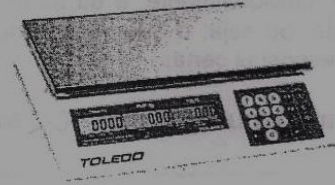
- Em que situações do dia-a-dia os instrumentos de medidas abaixo podem ser usados?



Trena



Relógio



Balança

Os instrumentos acima podem ser usados para medir o tamanho ou comprimento, o tempo para ver se foi bem numas corridas ou para ver a hora e para medir o peso.

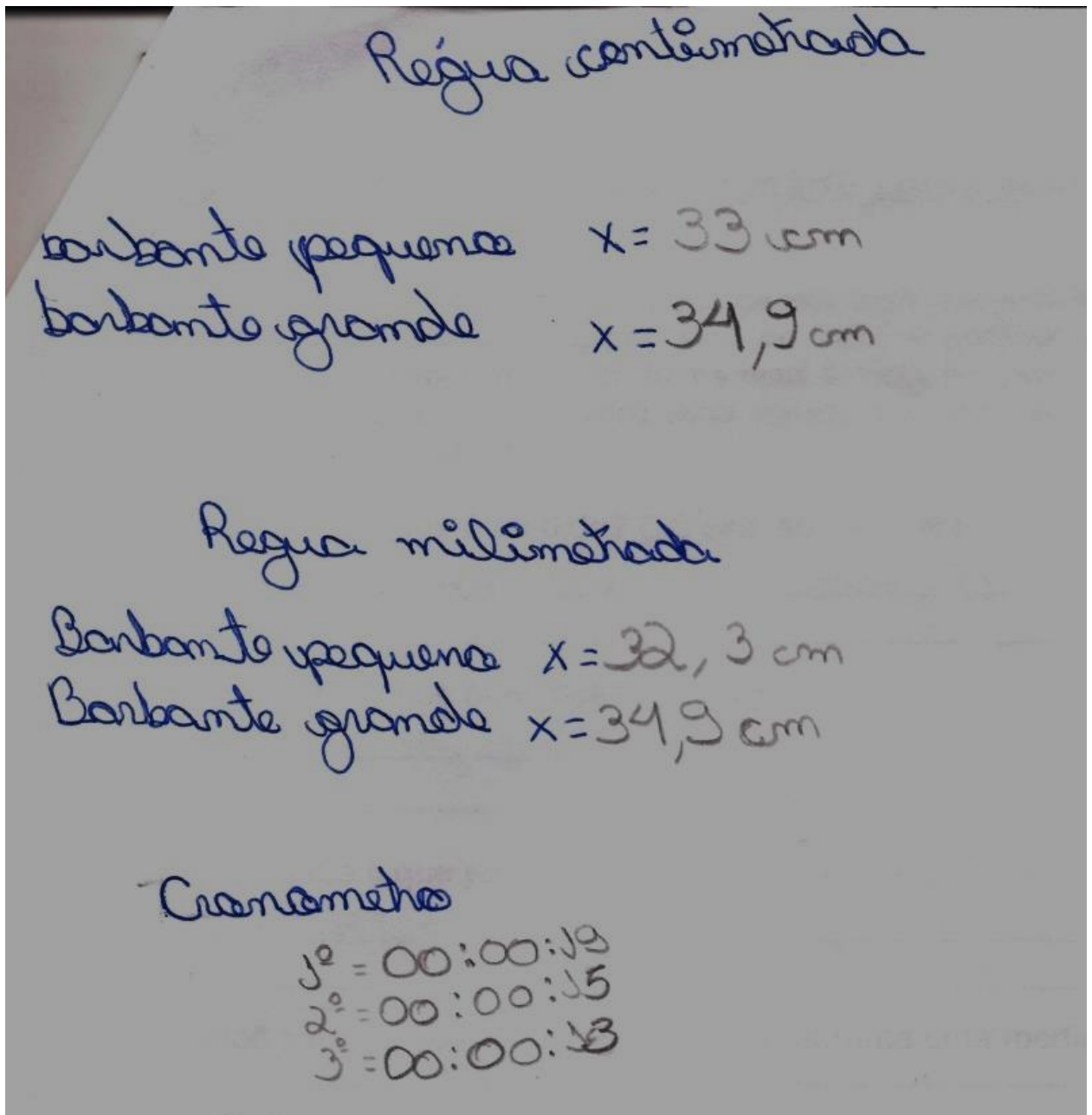
- Na figura abaixo as crianças estão jogando bola num campo improvisado na rua. Sabendo que eles não utilizaram nenhum instrumento de medição, como eles fizeram para medir o tamanho do campo e do gol?



Os gol usaram os pés para medir o campo usando os calçados como as laterais.

ANEXO B

DADOS DA PRÁTICA I DO ALUNO A1



ANEXO C

REDAÇÕES SOBRE O DOCUMENTÁRIO "PRECISÃO A MEDIDA DE TODAS AS COISAS – ESPAÇO E TEMPO" DOS ALUNOS A2, A3, A4 E A5

Redação – Aluno A2

A medida serve para medir várias coisas.

A medida serve para medir várias coisas. Antes os relógios que perde 1 segundo em 38 milhões de anos, e agora em dia planeja para um relógio tão preciso que só varia 1 segundo ao longo da existência do Universo.

A medição é o segredo para entender nosso lugar no Universo, por isso usamos a medição.

A necessidade humana de contar e de medir e controlar o mundo. Em nossa civilização atual, os processos de medição são bastante complexos, a fim de satisfazerem as necessidades da ciência e da tecnologia.

Em épocas remotas o homem utilizava processos simples, suficientes para a sua técnica primitiva.

Redação – Aluno A3

Consistimos hoje 24-03 um filme de medida, tempo, metro e distância

Eles usaram uma réplica para medir o tempo.

20 mil homens construíram a pirâmide Kheops

E se os homens que estavam medindo; medissem errado a condenação era a morte.

Em Paris no século 18 algumas coisas nessa época no centro comercial eram fraudulentas porque a medida não era a mesma.

Em um país sabe exatamente qual é a sua medida.

O metro havia medido o mundo pelo menos na teoria

17 países foram aprovados a utilização do metro, mas nem todos utilizaram o metro.

A medida exata tinha poder de mudar uma nação.

A barra de um metro já não era mais exata depois de um tempo no universo.

O futuro do metro estava na balança

O laser também ajudou a medir o mundo apesar de ser uma luz muito forte

A medição levou a lugares que jamais cientistas acharam que é possível chegar.

O tempo e a distância estava extremamente entrelaçado.

Na história a medição se tornou parte da nossa vida.

A medição é muito importante como foi um dia.

Redação – Aluno A4

Medida de tempo ao longo da história:

Atualmente as unidades de medidas utilizadas e padronizadas pelo sistema internacional de medidas são: quilômetro (Km), Hectômetro (hm), decímetro (dam), metro (m), decímetro (dm), centímetro (cm) e milímetro (mm). Das unidades citadas utilizamos como referencial o metro.

Ao longo da história da humanidade as unidades de medida eram criadas e adaptadas de acordo com a necessidade dos povos. Muitas dessas medidas eram realizadas baseadas em partes do corpo. Por exemplo, o braço cubito era uma unidade utilizada pelos egípcios há aproximadamente, 4.000 mil anos. Ela consistia na distância de cotovelo até a ponta do dedo médio do farsó.

E na época do homem da caverna eles usavam a medida de tempo como dança, foram criados desenhos de animais nas paredes da caverna, desenhada pelas próprias mãos da caverna. No teto da caverna tinha 6 estrelas desenhadas em 6 pontos, assim fazendo um tipo de almanaque, e quando no céu essas estrelas se alinhavam igual ao do desenho era quando começava o ano novo para eles.

tinha um desenho de animais que dava a medida do tempo para eles, para se prepararem para a caça

de seus alimentos.

Com o tempo desenvolveram para medir o tempo um relógio de sol, que era feita com pedras montadas e um palito que marcava conforme o sol iria iluminando o relógio de sol era marcando o tempo pela sombra.

Só que tinha um problema a noite não tinha como saber as horas etc.

Já os egípcios foram mais inteligente inventaram um balde com um pequeno furo por baixo do balde e a medida de água conforme a água vazava era uma hora que se passaram e tem outras mil formas que fizeram para se saber o tempo até chegar no que estamos hoje.

Redação – Aluno A5

Aula de física: comentários sobre o vídeo:
Precisão, a medida de todas as coisas.

Redação.

O documentário visto na aula nos traz bastante informações em relação a história de como tudo aconteceu, mas no meu ponto de vista não há muito o que comentar sobre tudo que foi falado, porque é tudo muito bem explicado de uma forma bem clara, creio eu que o foco do documentário é trazer as informações gerais sobre a história da medida e é algo que se pode ficar horas, talvez dias se falando sobre o assunto, porque é algo muito abrangente.

O que mais me chamou a atenção, e que eu achei muito interessante é a forma como os métodos de medida foram se modificando até chegarmos na precisão de medida que temos nos dias de hoje.

ANEXO D

DADOS DO QUESTIONÁRIO II DO ALUNO A6

1) O que é medida?

R: É muito usada no dia a dia, e devido a sua aplicabilidade em diversas áreas de conhecimento, tais como: matemática, física, filosofia, metrologia, etc., a sua definição é muito complexa.

2) O que é física?

R: ciência que estuda as propriedades e processos fenomenológicos da natureza através do levantamento das leis que regem o universo a partir dos seus constituintes.

3) O que é desenvolvimento científico?

R: É Tecnológico, baseou-se a criação cada vez mais, medições precisas e diversificadas.

4) O que é notação científica?

R: Em física a notação científica é utilizada para expressar as medidas de grandezas físicas muito grandes ou muito pequenas.

5) O que são algarismos significativos?

R: Os algarismos significativos, como o próprio nome já diz são algarismos (números) que tem um significado.

6) Diferença entre medida e medição?

R: Muitas vezes são utilizadas como sinônimos, mas há uma diferença entre elas. A medição é o ato ou fato de medir, enquanto a medida é resultado de uma medição.

7) Cite um dos princípios Básicos da física?

R: É que não se pode medir uma grandeza física com precisão absoluta.

8) O que é laboratório científico?

R: Onde o ambiente é controlado e os instrumentos são adequados, podem ocorrer erros de vários tipos em um processo de medição.

9) O que são erros aleatórios ou estatísticos?

R: Resultam de variações aleatórias no valor de uma grandeza medida (cujo valor é conhecido), devido aos fatores que por algum motivo não podem ou não são controlados.

10) O que é erro sistemático; podem ocorrer por diversas causas e geralmente se repetem nos tipos de erro a seguir.

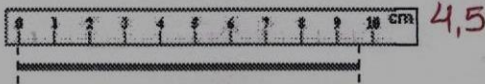
ANEXO E

DADOS DA PROVA TEÓRICA DO ALUNO A1

Prova de Física Sobre Medidas (Valor: 30,0)

Medidas

- 1) No diagrama abaixo temos, uma régua graduada em centímetros medindo um pedaço de barbante:
- a) identifique a grandeza medida e b) indique valor medido pelo instrumento e seu erro. (valor: 5,0)



- a) comprimento (L) ✓
 b) $9,7 \pm 0,5$ cm ✓

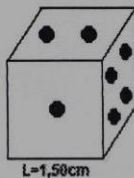
- 2) Usando uma régua graduada em milímetros, uma pessoa mediu o mesmo pedaço de barbante da questão 1. Para o valor encontrado assinale a alternativa correta. (valor: 4,0)
- a) 9,75cm c) 10,0cm e) 9,750cm
 b) 9,7cm d) 10,00cm

Algarismos Significativos e Notação Científica

- 3) Ao medir a massa (m) de uma pena um estudante, verificou que esta pesava 0,0015 g. a) Quantos são os algarismos significativos, os algarismos corretos e os algarismos duvidosos. b) Escreva a massa da pena em notação científica. (valor: 5,0)

a) 2 significativos, 1 corretos, 1 duvidosos. ✓ 2,0
 b) $1,5 \cdot 10^{-4}$ g ✓

- 4) A figura abaixo é de um dado, cujo comprimento (L) foi medido com uma régua milimetrada. Calcule a Área superficial total (A) e o Volume (V) do dado e expresse corretamente esses valores. (valor: 5,0)



- Fórmulas: $A = 6.L^2$ e $V = L^3$

$A = 6.L^2$
 $A = 6 \cdot (1,50 \text{ cm})^2$
 $A = 6 \cdot 2,25 \text{ cm}^2$
 $A = 13,50 \text{ cm}^2$
 $A = 6$ ✓

$V = L^3$
 $V = (1,50 \text{ cm})^3$
 $V = 3,375$
 $V = 3,38 \text{ cm}^3$ ✓

- 5) Sabendo que o dado da questão 4, tem uma massa (m) de 28,8g, calcule a densidade (d) do dado. (valor: 5,0)

- Fórmula: $d = \frac{m}{V}$ $d = \frac{28,8}{3,4} = 8,5 \text{ g/cm}^3$ ✓

- a) 8,520 g/cm³ c) 8,5 g/cm³ ✓ e) 8,60 g/cm³
 b) 8,52 g/cm³ d) 8,6 g/cm³

Incertezas ou Erros

- 6) Relacione enumerando corretamente os termos de acordo com os tipos de erros: (valor: 4,0)

(1) Erro Instrumental; (2) Erro Observacional; (3) Erros Ambientais; (4) Erros Grosseiros.

- I - (1) Paralaxe. ✗
 II - (2) Calibração. ✓
 III - (3) Temperatura. ✓
 IV - (4) Engano. ✓
 V - (1) Tempo de Reação. ✗
 VI - (4) não é erro do ponto de vista da teoria de Erros. ✓
 VII - (1) Campo eletromagnético. ✗
 VIII - (3) Desgaste. ✗

- 7) De acordo com o que você estudou sobre medidas é possível obter uma medida com precisão absoluta? Justifique sua resposta. (valor: 2,0)

Dim, não é possível usar vários tipos de instrumentos, quanto mais preciso melhor pois quanto mais algarismos melhor a precisão deste instrumento. ✓ 2,0

ANEXO E

DADOS DO QUESTIONÁRIO III DO GRUPO G1

Questionário dos textos:

- "O que é medida"?
- "como obter medidas confiáveis"?

1- O que é medida?

2- O que é medição

3- É possível obter uma ^{medida} com precisão absoluta?

4- Quais os tipos de incertezas ou erros que podem afetar o processo de medição?

5- É fácil obter medidas confiáveis? Explique.

6- O que é um processo aleatório?

7- O que é necessário para se obter uma boa estimativa?

8- Existe um nível de confiança máximo para uma estimativa? Explique.

Resposta

- nº 1) A medida ou medida física, geralmente está associada a um valor numérico ou quantitativo de uma ou mais grandezas físicas, como por exemplo, o comprimento, o tempo e a massa, entre outros.
- nº 2) A medição é o ato ou efeito de medir, enquanto a medida é resultado de uma medição. Uma medição objetiva determinar, portanto, com uma especificação apropriada da mensuranda, do método e do procedimento de medição para obter uma medida.
- nº 3) Um dos princípios básicos da física é que não se pode medir uma grandeza física com precisão absoluta.
- nº 4) Erros aleatórios ou estatísticos, erros sistemáticos, erros instrumentais, erros de leitura, erros ambientais, erros observacionais, erro de paralaxe, erros humanos ou Engrenos.
- nº 5) Não é uma tarefa fácil. Isso porque todo o processo de medição está sujeito a incertezas ou erros, que torna um processo aleatório ou probabilístico.
- nº 6) Um processo aleatório é qualquer fenômeno que pode ter diferentes resultados finais, quando repetido em certas condições predeterminadas. Nem sempre é possível se obter essas condições,

PREDETERMINADAS. O FATO DE QUE ALGUMAS CONDIÇÕES NÃO SÃO OU NÃO PODEM SER RETENIDAS É O QUE TORNA O PROCESSO ALÉATORIO.

n.º 7) Procuramos estimar quão longe o ~~nosso~~ resultado pode estar do valor alvo da grandeza medida, ou seja, qual valor deve atribuir à incerteza. Isto pode ser representado da seguinte forma.

n.º 8) Por que de acordo com a teoria de probabilidade, ainda que o conjunto de dados $\{X_i\}$ fosse composto de um número infinito de medidas da grandeza física, e que eles obedecessem a uma distribuição normal centrada em X_0 , e que eles fossem estatisticamente independentes, há um nível de confiança máxima seria de 68%.

APÊNDICE K

DADOS DA PROVA PRÁTICA DO GRUPO G1

Experimento: Estimativa do tempo de reação médio humana

Geralmente um ser humano leva certo tempo para reagir a algum estímulo. Uma forma de estimar o tempo de reação humana (T) pode ser calculado utilizando-se uma régua e a fórmula abaixo:

$$T = \sqrt{\frac{2H}{g}} \quad (1)$$

onde H é a altura de queda da régua antes de ser pega, $g=1000\text{cm/s}^2$ é a aceleração da gravidade. Podemos reescrever a equação 1, como:

$$T = \sqrt{\frac{H}{500}} \quad (2)$$

Tabela de valores medidos e calculados				
	Altura	Tempo	Desvio	Desvio ao quadrado
i	H_i (cm)	T_i (s)	$d_i = T_i - T_m$ (s)	$(d_i)^2 = d_i \cdot d_i$ (s ²)
1	17 cm	0,18	0,01	0,0001
2	17 cm	0,18	0,01	0,0001
3	5 cm	0,10	-0,07	0,0049
4	16 cm	0,17	0	0
n=5	26 cm	0,22	0,05	0,0025
		$\Sigma T_i = 0,85$	$\Sigma d_i = 0$	$\Sigma (d_i)^2 = 0,0076$

Fórmulas:

$$T_i = \sqrt{\frac{H_i}{500}} \quad (3)$$

$$T_m = \frac{\Sigma T_i}{n} = \frac{0,85}{5} = 0,17 \quad (4)$$

$$\Delta T_m = \sqrt{\frac{\Sigma (d_i)^2}{n \cdot (n-1)}} = \sqrt{\frac{0,0076}{5 \cdot (5-1)}} = \sqrt{\frac{0,0076}{20}} = 0,019 \quad (5)$$

- Estimativa do Tempo de reação Humana: $T = T_m \pm \Delta T_m$

$$T = 0,175 \pm 0,02 \text{ s.}$$