

Para além dos paradigmas da medição

Beyond the measurement paradigms

Paulo Sérgio de Camargo Filho¹ · Carlos Eduardo Laburú² ·
Marcelo Alves de Barros³

Resumo: O presente estudo realiza um levantamento dos principais trabalhos produzidos ao longo das últimas décadas a respeito da compreensão das ações e raciocínio dos estudantes frente a uma situação de medição, culminando na elaboração de um modelo-síntese denominado Paradigma Pontual e de Conjunto. Avançando nas pesquisas referentes ao tema, propõe-se o refinamento teórico para caracterizar os paradigmas em Categorias de Compreensão Conceitual, contribuindo para uma análise mais minuciosa e qualitativa das concepções dos estudantes relativas a medição.

Palavras-chave: Ensino de Física. Medição. Paradigma Pontual e de Conjunto. Compreensão conceitual.

Abstract: This study carried out a survey of the main papers produced over the past decades about the understanding and thinking of the students in a measurement situation. It led to the development of a model-synthesis called Point and Set Paradigm. To develop research in this subject, a theoretical refinement is proposed to characterize the current paradigm into Categories of Conceptual Understandings which will contribute to a more thorough and qualitative understanding of students' conceptions regarding measurement.

Keywords: Physics Teaching. Measurement. Point and Set Paradigms. Conceptual understanding.

¹ Departamento de Física, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Londrina, Avenida dos Pioneiros, 3131, Londrina, PR, Brasil. E-mail: <paulocamargo@utfpr.edu.br>

² Departamento de Física, Universidade Estadual de Londrina (UEL), Londrina, PR, Brasil.

³ Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, SP, Brasil.

Introdução

A literatura em educação científica apresenta diversos artigos que buscam compreender as diferentes e recalcitrantes visões dos alunos a respeito da medição. Ideias dos alunos sobre a confiabilidade e validade da evidência experimental foram estudadas em contextos de física, química, biologia e ciência em geral, em diversos países, desde níveis mais elementares de ensino à universidade. Avanços nas pesquisas em relação ao tema podem ser vistos a partir da última década do século XX (ALLIE et al., 1998; BUFFLER; ALLIE; LUBBEN, 2001; EVANGELINOS; PSILLOS; VALASSIADES, 2002; JOUREAUX; SÉRÉ, 1994; KANARI; MILLAR, 2004; KIRSCHNER, 1992; LUBBEN; MILLAR, 1996). Os resultados dessas pesquisas apontam que a visão que os estudantes têm a respeito da coleta, processamento e comparação de dados experimentais compõem obstáculos aos objetivos das atividades experimentais quantitativas. Por outro lado, são escassos os trabalhos que exploram uma ação pedagógica orientada para transformar esse estado de coisas. Os que o fazem, limitam-se a analisar as concepções dos estudantes, em geral, do primeiro ano universitário, que se sujeitam a propostas tradicionais de ensino (ALLIE et al., 1998; BUFFLER; ALLIE; LUBBEN, 2001; LARCHER, SÉRÉ; JOURNEAUX, 1994; SÉRÉ, JOURNEAUX; LARCHER, 1993).

É importante notar que a medição e sua respectiva incerteza estão no cerne da ciência empírica e são considerados como um dos componentes fundamentais na educação científica (JOURNEAUX; SÉRÉ, 1994; LABURÚ, 2005; SÉRÉ, 2002; WELZEL et al., 1998). Segundo Laburú e Barros (2009), o sentido que um aprendiz dá à medida determina as suas decisões de como coletar, processar e interpretar dados de modo a obter conclusões. Tais decisões são essenciais para desenvolver atividades didáticas sob enfoque das mais variadas estratégias de ensino, estando estas baseadas em orientações instrucionais fundamentadas no teste de hipóteses ou na aplicação de um paradigma, de inclinações, respectivamente, *popperiana* e *kubniana*, ou, possivelmente, segundo orientações *verificacionista* ou *indutivistas*, mais corriqueiras e criticáveis.

A existência de padrões de raciocínio relacionados à medição já foi evidenciada em diversas pesquisas ao longo das últimas décadas. Leach (2002) realizou amplo estudo a respeito do ensino de análise de dados em Bioquímica, com a participação de mais de 600 estudantes de seis países europeus. Os resultados mostraram que, dentre outras ideias, 60% dos estudantes acreditam que é possível obter uma medição perfeita, isto é, sem incertezas. Outros estudos têm mostrado que é raro os estudantes espontaneamente realizem várias medições, salvo quando suspeitam que houve uma falha em sua primeira medição (SÉRÉ; JOURNEAUX; LARCHER, 1993). Em geral, os alunos, no laboratório, aparentemente focam na busca de um “valor verdadeiro” específico, sem a devida consideração da incerteza. Conforme argumentam Evangelinos, Valassiades e Psillos (1999), em níveis mais avançados de ensino, em cada fase de um experimento – coleta, processamento e comparação de dados – espera-se que os alunos dominem o significado mais complexo de medição e sejam capazes de aplicar este conhecimento juntamente com uma compreensão da incerteza que lhe é associada. No entanto, há evidências de que os alunos utilizam uma “aproximação determinística” de raciocínio que lhes permite evitar a interpretação de resultados utilizando os conceitos de incerteza e de probabilidade (EVANGELINOS; VALASSIADES; PSILLOS, 1999).

Os trabalhos mais extensos a respeito das ideias dos alunos relacionados a medição foram realizados por um grupo de pesquisadores da University of York (Reino Unido) e Uni-

versity of Cape Town (África do Sul), como Allie et al. (1998); Buffler, Allie e Lubben (2001); Evangelinos, Valassiades e Psillos (1999); Lubben e Millar (1996), entre outros. Seus resultados culminaram na associação de ações e raciocínios dos estudantes frente a uma situação de medição em dois conjuntos denominados de Paradigma Pontual e Paradigma de Conjunto. Tendo em vista a vasta literatura produzida pelo citado grupo e buscando contribuir para o avanço das discussões relativas ao tema, pretendemos, neste estudo, em primeiro lugar, sintetizar as características gerais e particulares do Paradigma Pontual e de Conjunto; e, em segundo lugar, construir e aplicar um instrumento analítico voltado para investigar, com maior profundidade e refinamento, o desempenho que apresenta um grupo de estudantes em uma atividade de medição, reunindo, para tal fim, a estrutura do Paradigma Pontual e de Conjunto com as Categorias de Compreensão Conceitual (ADDADAN; TRUNDLE; IRVING, 2010).

Paradigma Pontual e Paradigma de Conjunto

Baseado em um amplo estudo observacional sobre alunos do ensino secundário britânico, ao realizarem tarefas abertas de investigação, Lubben e Millar (1996) distinguem três aspectos de compreensão procedimental. O primeiro aspecto se concentra na identificação dos propósitos dos estudantes para realizar várias medidas de uma mesma quantidade. O segundo aspecto procura entender: como os estudantes atuam frente a um conjunto de valores de uma amostra, como ajustam uma reta em uma distribuição de pontos, se calculam a média, se têm percepção da dispersão das medidas, se identificam e como agem em relação a uma anomalia presente em um conjunto de dados. O terceiro aspecto analisa como os estudantes cotejam duas ou mais amostras, de mesma quantidade de dados, observando se há compatibilidade e qualidade relativas entre elas. Para isso, devem considerar as médias e incertezas das amostras. Estuda-se a situação em que não se fornecem, explicitamente, os valores das incertezas das amostras, podendo ser elas apenas estimadas pelos dados. No caso, são investigadas situações em que se comparam duas amostras de mesmas médias com diferentes dispersões, assim como amostras com médias diferentes com mesmas dispersões; em ambas as situações, a média de uma amostra encontra-se inserida no grupo de dados da outra. Segundo Lubben e Millar (1996), os estudantes investigados entendem a importância da dispersão dos dados numa série, quando comparada à outra. Em geral, eles escolhem a série mais estreita, mas, se as médias forem iguais, a confiança nas séries independe da dispersão dos dados (LUBBEN; MILLAR, 1996, p. 962). Os resultados permitiram, aos autores, elaborarem um modelo que reúne, em oito passos progressivos, os raciocínios que são comuns em alunos adolescentes quando estes tratam dos aspectos referentes à coleta, processamento e comparação de dados. Allie et al. (1998,) adaptaram e testaram o modelo de Lubben-Millar em alunos de primeiro ano universitário na África do Sul. Em tal pesquisa, os estudantes apresentaram raciocínios com maior sofisticação do que aqueles permitidos no esquema de Lubben-Millar, indicando que o esquema poderia incluir uma nova categoria (LUBBEN; MILLAR, 1996, p. 448).

Embora o raciocínio dos estudantes no trabalho de Allie et al. (1998) fosse classificado como avançado, a linguagem usada pelos mesmos foi casual ou de senso comum. Termos que refletem a coleta e manipulação de dados, como medição, cálculo, resultado e valor, são usados alternadamente. Há uma considerável confusão sobre a terminologia empregada, tais como:

propagação, erro, série, incerteza, precisão e acurácia. De acordo com Séré et al. (1993 apud ALLIE et al., 1998, p. 449), o uso casual da terminologia científica está relacionado com a falta de diferenciação entre erros sistemáticos e aleatórios na mente dos estudantes. A vasta maioria dos estudantes argumenta justamente que a repetição de uma medição é necessária para limitar o erro aleatório e, por consequência, aumentar a precisão.

Apesar de os estudos citados anteriormente terem documentado o pensamento e as ações dos estudantes ao realizarem investigações experimentais em um laboratório, seus resultados não apontam para um quadro teórico que auxilie na construção de estratégias de ensino adequadas. No entanto, o trabalho posterior de Lubben et al. (2001) sugere um esquema de classificação alternativo, a partir do qual um quadro teórico para o desenvolvimento curricular pode ser facilmente construído. Neste esquema, o raciocínio utilizado pelos alunos no laboratório é classificado em dois tipos principais: raciocínio pontual e o raciocínio de conjunto. Para isso, os autores do estudo exploram a extensão em que os construtos do raciocínio pontual e de conjunto podem ser usados para classificar o raciocínio dos alunos enquanto estes estão envolvidos nos processos de coleta, processamento e comparação de dados em um laboratório. Sintetizamos, no Quadro 1, os resultados associados de Lubben e Millar (1996) e Allie et al. (1998), compondo um modelo de progressão de ideias relativas aos dados experimentais.

Quadro 1. Modelo de progressão de ideias relativas aos dados experimentais.

| Nível | Visão do estudante sobre o processo de medição |
|-------|--|
| A | Realizar uma única medição e este é o valor correto. |
| B | A menos que você obtenha um valor diferente do esperado, a medição está correta. |
| C | Realizar algumas medições para praticar e, então, fazer a medição que deseja. |
| D | Repetir a medição até obter um valor recorrente. Este é a medição correta. |
| E | É necessário tirar uma média de diferentes medições. Variar sutilmente as condições para evitar obter os mesmos resultados. |
| F | Tirar uma média de várias medições para atender à variação devida a medições imprecisas. A qualidade do resultado pode ser julgada apenas por uma fonte confiável. |
| G | Tirar uma média de várias medições. A propagação de todas as medições indica a qualidade do resultado. |
| H | A consistência do conjunto de medições deve ser julgada e medições anômalas precisam ser rejeitadas antes de se tirar uma média. |
| I | A consistência dos conjuntos de dados pode ser julgada por comparação da localização relativa de suas médias em conjunção com suas propagações. |

Fonte: Adaptado de Lubben e Millar (1996) e Allie et al. (1998).

A constatação de que o raciocínio utilizado pelos estudantes em atividades laboratoriais pode ser classificado em duas distintas categorias é coerente com o modelo de progressão da compreensão dos alunos sobre a evidência científica, conforme sugerido por Lubben e Millar (1996). De acordo com Lubben et al. (2001, p. 326), no Quadro 1: o Raciocínio Pontual está relacionado com os quatro primeiros níveis (A – D) do modelo de progressão, o Raciocínio de Conjunto Básico com os dois níveis seguintes (E – F), e o Raciocínio de Conjunto Avançado com os três últimos níveis (G – I). As duas principais categorias identificadas neste estudo têm a vantagem de orientar as atividades de ensino no laboratório por permitirem que os alunos pensem além do Raciocínio Pontual, com um uso consistente de Raciocínio de Conjunto.

Em consonância com o trabalho de Lubben et al. (2001), Buffler, Allie e Lubben (2001) reúnem os seus resultados com os de Lubben e Millar (1996) num modelo-síntese denominado de Paradigma Pontual e Paradigma de Conjunto. Tais denominações mantêm paralelo com o conceito *kubniano* de paradigma (KUHN, 1987), e pretendem conotar um grupo de crenças, valores, técnicas etc., compartilhados pelos alunos quando ponderam sobre a medição.

O Paradigma Pontual é caracterizado pela ideia fundamental que o valor de cada medição pode ser, em princípio, o valor verdadeiro (BUFFLER; ALLIE; LUBBEN, 2001, p. 1139). Como consequência, cada medição é independente uma da outra, e as medições individuais não estão combinadas entre si de forma alguma. Também resulta que a medição é vista como condutora a um único valor pontual em vez de estabelecer-se como um intervalo de valores. Em sua forma mais extrema, esta forma de pensamento manifesta-se na crença de que apenas uma única simples medição é necessária para estabelecer o valor verdadeiro, como indicado no trabalho de Séré, Journeaux e Larcher (1993). Se uma série de medidas é tomada por qualquer razão, as ferramentas operacionais que estão disponíveis aos estudantes para a tomada de decisões levam a ações que ocorrem apenas no tratamento de dados pontuais individuais (LUBBEN et al., 2001, p. 312). Essas ações são, por exemplo, a seleção de um valor recorrente em uma série de medições ou a comparação de valores um-a-um em diferentes conjuntos de dados. Sinteticamente, podemos afirmar que o Paradigma Pontual se sustenta na concepção da inexistência de uma incerteza associada a uma quantidade particular, e que, por implicação, basta realizar uma única medida quando se faz um experimento. Por detrás desse procedimento, está a ideia de que, ao não se cometer nenhuma incorreção pessoal, e se a situação experimental e instrumental estiver em perfeitas condições, a medida obtida é correta e única. Essa ideia se manifesta a partir de construções epistemológicas ingênuas trazidas pelos sujeitos na sua interação com o cotidiano (MARINELI; PACCA, 2006). Como dito, tais construções apoiam-se num profundo realismo que é reforçado pelo tipo das tarefas escolares (COELHO; SÉRÉ, 1993 apud BUFFLER; ALLIE; LUBBEN, 2001, p. 1138), mas que sofrem, igualmente, interferências de aspectos que são explicáveis pela psicologia cognitiva e operações lógico-matemáticas que foram construídas pelos sujeitos (LABURÚ; BARROS, 2009). O Quadro 2 sintetiza as ações e raciocínios do Paradigma Pontual de acordo com cada fase da medição.

Por sua vez e por oposição, o Paradigma de Conjunto é caracterizado pela ideia de que cada medição é apenas uma aproximação para o valor verdadeiro, e que os desvios do valor verdadeiro são aleatórios (BUFFLER; ALLIE; LUBBEN, 2001, p. 1139). Como consequência, várias medições são necessárias para formar uma distribuição que se agrupa em torno de certo valor específico.

Quadro 2. Ações e raciocínios associados com o Paradigma Pontual.

| | Fase da medição | Ação | Raciocínio |
|-------------------|---|---|---|
| Paradigma pontual | Coleta | Não é necessário repetir a medição. Repete-se para encontrar um valor recorrente; repete-se para praticar. | A medição direciona a um único valor, ao invés de contribuir para um intervalo. Uma única boa medição é suficiente. |
| | Processamento <i>via cálculo</i> | Uma única (melhor) medição, por exemplo, o valor recorrente, é selecionado para representar o valor verdadeiro. | Cada medição é independente de todas as outras e pode, a princípio, ser o valor verdadeiro. |
| | Processamento <i>via gráfico linear</i> | Todos os pontos unidos por múltiplos segmentos de linha ou uma única linha por meio de dados selecionados. | A tendência dos dados é mais bem representada quando são selecionados certos valores particulares. |
| | Comparação <i>conjunto de dados</i> | Comparação de valor por valor de dois conjuntos, ou uma comparação baseada na “proximidade” das médias (se fornecidas). | Não há necessidade de repetir as medições, portanto, as comparações são feitas sobre os valores individuais. |

Fonte: adaptado de Buffler, Allie e Lubben (2001, p. 1153).

A melhor informação a respeito do valor real é obtida por meio da combinação das medições por intermédio de constructos teóricos, como a média e o desvio padrão, a fim de descrever os dados coletivamente. As ferramentas operacionais que estão disponíveis para este fim incluem procedimentos formais matemáticos, que podem ser utilizados para caracterizar as medições como um todo, tais como a média e o desvio padrão (LUBBEN et al., 2001, p. 312). Por sua vez, tanto a média como o desvio padrão tornam-se ferramentas para fazer comparações com outras séries de dados ou com a teoria. A rigor, o limite de abrangência conceitual mais elaborado do Paradigma de Conjunto consolida-se na Teoria da Probabilidade. Do ponto de vista dessa teoria, considera-se que uma grandeza física experimental só pode ser determinada por meio de um valor numérico resultante de uma reunião de dados experimentais; e, ademais, se admite que exista um “valor verdadeiro ou alvo” (LUBBEN et al., 2001, p. 38) bem definido para toda grandeza física experimental, caracterizado por meio de um modelo para o fenômeno físico, posto que sempre há uma incerteza inseparavelmente vinculada a uma medida ocasionada por fatores que não podem ser controlados, ou que, por qualquer motivo, não são controlados, e que redundam em variações aleatórias no valor das medidas.

O Quadro 3 sintetiza as ações e raciocínios do Paradigma de Conjunto de acordo com cada fase da medição.

Quadro 3. Ações e raciocínios associados com o Paradigma de Conjunto.

| | Fase da medição | Ação | Raciocínio |
|-----------------------|---|--|--|
| Paradigma de conjunto | Coleta | Repetir a medição da mesma quantidade é necessário em consequência da dispersão inerente dos dados. | Cada medição é apenas uma aproximação do valor verdadeiro, e os desvios do valor verdadeiro são aleatórios. Várias medições são necessárias para formar uma distribuição que irá se agrupar em torno de algum valor em particular. |
| | Processamento <i>via cálculo</i> | Um conjunto de medições é representado por um constructo teórico, como a média e o desvio padrão. | A melhor informação a respeito do valor verdadeiro é dada pela combinação das medições usando constructos teóricos para caracterizar o conjunto como um todo. |
| | Processamento <i>via gráfico linear</i> | Todas as medições são levadas em consideração para o ajuste linear dos dados por meio do método dos mínimos quadrados. | A melhor representação gráfica de um conjunto de medidas é obtida pela modelagem da tendência dos dados. |
| | Comparação <i>qualidade dos dados</i> | Para o mesmo conjunto de medidas, é considerado o melhor resultado aquele associado ao menor desvio padrão. | O desvio padrão está relacionado à precisão da medição. |
| | Comparação <i>conjunto de dados</i> | O acordo de duas medições está relacionado com o nível de sobreposição de seus intervalos. | A média e o desvio padrão definem um intervalo de confiança, o qual está relacionado tanto com melhor estimativa quanto à confiabilidade da medição. |

Fonte: Adaptado de Buffler, Allie e Lubben (2001, p. 1153).

Há um consenso entre esses pesquisadores de que uma efetiva mudança conceitual requer um modelo de instrução experimental que contemple não apenas a visão dos alunos sobre a medição, mas, também, esclareça explicitamente, a partir de um ponto de vista epistemológico, os limites da Física como uma ciência quantitativa exata. Para Buffler, Allie e Lubben (2001), os estudantes devem dominar ferramentas e procedimentos de análise de dados (ações) e aprofundar a sua compreensão da natureza da medição científica (raciocínio) como parte de seu desenvolvimento em métodos científicos.

Conforme afirmam Buffler, Allie e Lubben (2001, p. 1153), “o objetivo geral de uma instrução laboratorial deve estar dirigido para efetuar uma mudança no paradigma utilizado pelo estudante”. Idealmente, isso implicaria o desenvolvimento em paralelo do uso de ferramentas

operacionais de análise estatística e de uma compreensão sobre a natureza dos dados e da medição. No entanto, tradicionalmente, os cursos de laboratório tendem a enfatizar as regras formais do tratamento estatístico dos dados e omitem aspectos que abordam a estrutura conceitual. Allie et al. (2003) sugerem que os currículos de laboratório sejam concebidos de forma que os conceitos subjacentes aos procedimentos experimentais sejam explicitamente abordados.

Diferentemente de países como a Inglaterra (KANARI; MILLAR, 2004, p. 749), o ensino de ciências no Brasil não toma esse tema com a merecida ênfase, ainda que haja a indicação da necessidade da habilidade em compreender e utilizar tabelas, gráficos e relações matemáticas ligadas à competência de representação e comunicação dos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM). Trabalhos como os de Camargo Filho e Laburú (2013), Laburú, Silva e Força (2012), Laburú, Silva e Sales (2010), entre outros, também reforçam a necessária ênfase no que se refere à medição e seus relativos processos de aprendizagem. Em razão disso, é de se esperar que os estudantes brasileiros do Ensino Básico não apresentem uma suficiente noção a respeito desse assunto e cheguem ao Ensino Superior com conceitos sobre medição distantes do científico, com predominância dos raciocínios presentes no Paradigma Pontual. Apenas recentemente, alguns trabalhos desenvolvidos em âmbito nacional, cientes da necessidade de uma renovação na compreensão do processo de medição, exploram alternativas para o delineamento de estratégias de ensino do tema na Educação Básica, entre os quais podemos citar o estudo realizado por Laburú, Silva e Força (2012), no qual confirmam a ideia de que os estudantes obtêm medidas experimentais com melhor acurácia quando submetidos a uma estratégia de ensino que mantém paralelo com a orientação *kubniana* proposta por Millar (1987), a qual parte da hipótese de que conhecer previamente o valor da medida a ser obtida em um experimento faz com que os estudantes obtenham medidas com maior acurácia, pois ficam mais atentos e cautelosos com os procedimentos, refazendo-os quando a medida se desvia do valor por eles esperado, caso mais difícil de acontecer se eles desconhecem o valor do que estão medindo.

Categorias de Compreensão Conceitual

Experimentação e medição estão no cerne da Física, sendo imprescindível que os alunos desenvolvam uma compreensão apropriada desses conceitos. No entanto, de acordo com o que foi exposto até o momento, a maneira com que estes assuntos têm sido tradicionalmente tratados nos diferentes níveis de ensino não demonstra ser a mais adequada. Parte da compreensão relativa a este processo de ensino-aprendizagem passa pela possibilidade de classificação da compreensão referente à medição dos estudantes, pois, a partir disso, podem-se desenvolver estratégias de ensino mais adequadas às necessidades formativas desses sujeitos (LABURU; SILVA, 2011a).

Para Adadan, Trundle e Irving (2010), podemos explorar a compreensão dos estudantes por meio dos caminhos de compreensão conceitual, isto é, rotas de aprendizagem ao longo da qual os alunos passam no desenvolvimento da compreensão em qualquer domínio da ciência. As progressões de aprendizagem podem variar de aluno para aluno com relação às concepções existentes ou outros fatores, tais como o contexto ou as atividades desenvolvidas, dando origem a vários caminhos possíveis de serem observados. Os caminhos conceituais fornecem oportunidades de aprendizagem para os alunos desenvolverem conceitos integrados de algumas ideias

fundamentais da ciência, dando atenção para o alinhamento entre conteúdo, instrução e estratégias de avaliação. Em linhas gerais, as progressões de aprendizagem são descritas como formas cada vez mais sofisticadas de raciocínio que se sucedem dentro de um domínio de conteúdo no qual os alunos estão envolvidos (SMITH et al., 2006 apud DUNCAN; HMELO-SILVER, 2009, p. 606). A caracterização atual da progressão de aprendizagem surgiu a partir de estudos relativos à da avaliação, em especial, o desenvolvimento de sistemas de avaliação destinados a acompanhar o progresso do aluno. Baseando-se em tais trabalhos e nas primeiras descrições das progressões de aprendizagem, Duncan e Hmelo-Silver (2009) estabelecem uma definição mais abrangente das progressões de aprendizagem em termos de quatro características teóricas e estruturais fundamentais. Primeiro, as progressões de aprendizagem são focadas em ideias e práticas disciplinares fundamentais e geradoras. Em segundo lugar, essas progressões são delimitadas por uma âncora superior descrevendo o que os alunos devem saber e ser capazes de fazer até o fim da progressão, a âncora é determinada por análises do domínio, bem como as perspectivas estabelecidas. Em terceiro lugar, as progressões de aprendizagem descrevem diferentes níveis de progresso realizado nas etapas intermediárias entre as duas âncoras. Tais níveis são derivados de sínteses de pesquisas existentes sobre a aprendizagem do aluno em um determinado domínio, bem como pesquisas empíricas baseadas em estudos transversais e experiências de ensino a respeito da progressão. Em quarto lugar, as progressões de aprendizagem são mediadas pela instrução e currículo almejados. Enquanto a representação das progressões de aprendizagem possa parecer linear, não é assumido que, no progresso de desenvolvimento dos alunos, exista uma única trajetória, mas, sim, admite-se haver vários caminhos possíveis (DUNCAN; HMELO-SILVER, 2009, p. 607).

Apesar da complexidade óbvia da tentativa de se compreenderem os processos cognitivos que ocorrem quando os alunos têm de tomar decisões procedimentais durante a experimentação, as construções do Paradigma Pontual e de Conjunto constituem um esquema de classificação útil. No entanto, mesmo que um aluno seja capaz de raciocinar de forma consistente dentro do Paradigma de Conjunto, não implica que o mesmo tenha dominado as ferramentas operacionais de análise de dados (LUBBEN et al., 2001). Nesse sentido, é provável que o raciocínio e as ações que os alunos utilizam nas várias fases do desenvolvimento de sua compreensão poderão conter características de ambos os paradigmas.

Tendo em vista o que foi exposto, verifica-se a necessidade de uma forma diferenciada de classificação da concepção dos estudantes, a qual avance para além das construções do Paradigma Pontual e de Conjunto. Relatos de pesquisas, como de Adadan, Trundle e Irving (2010) e Buffer, Allie e Lubben (2001), foram associados para descrever os critérios para uma compreensão científica e identificar as possíveis concepções alternativas que os participantes ou grupo de participantes possam ter.

Dessa forma, propomos a associação dos Tipos de Compreensão Conceitual (ADADAN; TRUNDLE; IRVING, 2010, p. 1012) às informações contidas nos quadros 1, 2 e 3, a qual é sintetizada no Quadro 4. O Quadro 4 apresenta a descrição dos critérios estabelecidos para cinco tipos de categorias de compreensão conceitual (ADADAN; IRVING; TRUNDLE, 2009). Um Fragmento Científico neste estudo refere-se a um dos cinco aspectos do Paradigma de Conjunto e corresponde às atividades de coleta, processamento e comparação de dados. Por exemplo, o raciocínio de que “a melhor informação a respeito do valor verdadeiro é dada pela combinação das medições usando constructos teóricos para caracterizar o conjunto como um

todo” (BUFFLER; ALLIE; LUBBEN, 2001, p. 1139) é um fragmento científico relacionado ao processamento de dados experimentais. Em oposição, um Fragmento Alternativo implica uma concepção alternativa específica relacionada ao Paradigma Pontual. Seguindo o exemplo anterior, o raciocínio de que “cada medição é independente de todas as outras e pode, a princípio, ser o valor verdadeiro” (BUFFLER; ALLIE; LUBBEN, 2001, p. 1139) é um fragmento alternativo que pode estar associado ao mesmo processamento. As categorias de compreensão conceitual foram consideradas em um *continuum* desde os Fragmentos Alternativos, menos científicos, para a Compreensão Científica, que implica coordenar todos os aspectos do Paradigma de Conjunto. Com isso, constituímos as Categorias de Compreensão Conceitual da Medição, sintetizadas no Quadro 4.

Quadro 4. Categorias de compreensão conceitual da medição e respectivos critérios.

| Tipos de compreensão conceitual da medição | N | Critério |
|---|----------|--|
| Compreensão científica | 4 | Inclui todos os critérios de compreensão conceitual científica sobre o Paradigma de Conjunto. |
| Fragmentos científicos | 3 | Inclui critérios de compreensão conceitual científica, sendo um subconjunto de aspectos do Paradigma de Conjunto, sem fragmentos alternativos. |
| Científica com fragmentos alternativos | 2 | Inclui critérios de compreensão conceitual científica, sendo um subconjunto de aspectos do Paradigma de Conjunto, com, no máximo, três fragmentos alternativos. |
| Alternativa com fragmentos científicos | 1 | Inclui um subconjunto dos critérios de concepções alternativas indicadas em fragmentos alternativos, com, no máximo, dois aspectos científicos do Paradigma de Conjunto. |
| Fragmentos alternativos | 0 | Inclui um subconjunto de entendimentos conceituais que estão em conflito com os aspectos científicos do paradigma de conjunto, sem conter fragmentos de conhecimento científico. |

Fonte: Adaptado de Adadan, Trundle e Irving (2010, p. 1012), e Buffler, Allie e Lubben (2001).

Além do refinamento qualitativo permitido por este esquema, uma análise quantitativa pode ser realizada, para isso, valores numéricos foram atribuídos para cada categoria de compreensão conceitual: de 0 (Fragmentos Alternativos) a 4 (Conhecimento Científico) (ver Quadro 4). Os dados numéricos poderão ser utilizados para uma análise estatística não paramétrica por

meio do Teste de Sinais com pares de dados, comparando a evolução das Categorias de Compreensão Conceitual em momentos distintos: pré para pós-instrucional e pós-instrucional para retenção (SIEGEL; CASTELLAN, 1988 apud ADADAN; TRUNDLE; IRVING, 2010, p. 1011; WHITE; ARZI, 2005), os quais serão abordados em um estudo futuro. Com a interseção dos aspectos qualitativos e quantitativos citados, esperamos criar um instrumento analítico capaz de mapear os caminhos de compreensão conceitual dos estudantes ao evoluírem do Paradigma Pontual ao Paradigma de Conjunto, explicitando suas dificuldades de compreensão em relação aos procedimentos de coleta, processamento e comparação de dados experimentais.

Aplicação do Referencial Analítico

A presente seção caracteriza a aplicação do referencial analítico proposto para identificar as Categorias de Compreensão Conceitual de dois grupos de participantes de uma pesquisa científica sobre Medições em um momento inicial da progressão de aprendizagem, denominada, nessa pesquisa, de Avaliação Diagnóstica. A amostra que participou da investigação constituiu-se de alunos da graduação em Física e áreas afins de uma universidade estadual pública do estado do Paraná, participantes do curso “Introdução à Medição no Laboratório de Física”. As atividades foram desenvolvidas ao longo de tal curso, por meio de uma estratégia de ensino multirrepresentacional (LABURÚ; SILVA, 2011b), composta de atividades experimentais. O principal objetivo do curso foi permitir que os alunos se envolvessem com uma variedade de situações experimentais e fossem introduzidos às noções do tratamento estatístico de dados experimentais, avançando do Paradigma Pontual para o Paradigma de Conjunto. Em tal investigação, contou-se com a participação total de dezenove alunos, dos quais nove (dois grupos) produziram os dados a serem analisados na presente seção. Os dados qualitativos foram coletados a partir de diversas fontes (questionários, entrevistas, desenhos, esquemas, outros documentos), em vários modos (pictórica, verbal, gestual, entre outros). Adicionalmente, todas as atividades foram gravadas com o objetivo de verificar a contribuição individual dos participantes nas atividades do grupo e, conseqüentemente, no enquadramento do grupo nas Categorias de Compreensão Conceitual, constituindo um segundo momento de análise, o qual não é explicitado no presente artigo.

Para a referida Avaliação Diagnóstica, os grupos tinham à disposição um conjunto de instrumentos de medição (Réguas, Paquímetros, Balanças Analógicas, Provetas Graduadas), que permitiam determinar a densidade de um objeto regular composto de metal por meio de dois métodos distintos. Foi requisitado que os mesmos determinassem a densidade do objeto fornecido por qualquer um dos métodos escolhido a seu critério o mais acuradamente possível. Conforme demonstrado em pesquisas recentes, estudantes obtêm medidas experimentais com melhor acurácia quando guiados por um valor experimental prefixado pelo professor, neste caso, o valor da densidade do latão. Assume-se que conhecer previamente o valor da medida a ser obtida em um experimento faz com que os estudantes obtenham medidas com maior acurácia, pois ficam mais atentos e cautelosos com os procedimentos, refazendo-os quando a medida se desvia do valor por eles esperado, caso mais difícil de acontecer se eles desconhecem o valor do que estão medindo, resultando, por conseqüência, em um maior tempo de dedicação à atividade experimental (LABURÚ; SILVA; FORÇA, 2012). Após determinarem a referida densidade, foi solicitado que respondessem a questões referentes aos procedimentos adotados pelo grupo.

1. O grupo repetiu as leituras da massa e/ou volume? Quantas vezes? Por quais motivos?
2. Quais critérios foram usados para escolher o método de medição?
3. Compare seu resultado com o valor tabelado da densidade do material fornecido. O que o grupo pôde concluir a partir da experiência?
4. Você acredita que poderia medir a densidade “verdadeira” do material dessa forma? Você é capaz de pensar em uma forma de determinar o “valor verdadeiro”? Explique sua resposta.
5. Anote abaixo cada fator que você acredita que possa ter influenciado o resultado, seja de forma grande ou pequena.

Os dados apresentados na sequência referem-se às transcrições das respostas de dois grupos distintos, A e B, compostos por cinco e quatro participantes, respectivamente (quadros 5 e 6).

Com base nas respostas do grupo, cuja ações foram confirmadas pela análise da gravação em vídeo do procedimento e demais discussões entre os membros dos grupos (os quais não foram destacados neste estudo), foi possível classificar em qual categoria conceitual da medição cada estudante encontrava-se no momento inicial da progressão de aprendizagem por meio do referencial analítico proposto anteriormente (Quadro 4).

Quadro 5. Dados referentes às questões do Grupo A.

| Grupo A | |
|----------------|--|
| Método | Paquímetro e balança analógica |
| Tempo | 63 minutos |
| Resultado | $\rho_{\text{LATÃO}} = 8,69 \text{ g/cm}^3$ |
| 1. | “Sim, 2 2 vezes. A balança apresentou-se descalibrada durante boa parte das medições; também devemos levar em consideração as dúvidas nas medidas!” |
| 2. | “A precisão do instrumento e a facilidade na obtenção das medidas segundo discutido no grupo” |
| 3. | “Houve um equívoco na parte de leitura do paquímetro e a balança encontrou-se descalibrada, diante destas circunstâncias nossa medida apresentou-se próxima ao tabelado” |
| 4. | “Sim. Sim, com equipamentos mais calibrados e maior prática nas medições” |
| 5. | “Balança descalibrada e imprecisa; maior número de amostras. utilização do paquímetro; tratamento do cálculo” |

Fonte: elaborado pelos autores a partir de pesquisa realizada em setembro/2012.

Quadro 6. Dados referentes às questões do Grupo B.

| Grupo B | |
|----------------|--|
| Método | Paquímetro e balança analógica |
| Tempo | 59 minutos |
| Resultado | $\rho_{\text{LATÃO}} = 7,54 \text{ g/cm}^3$ |
| 1. | “Repetimos a medida da massa e das dimensões do cubo 4 vezes, cada uma sendo realizada por um membro do grupo e então fizemos a média e usamos o valor médio do volume e da massa, para maior precisão do experimento” |
| 2. | “O mais comum, que é medir as dimensões do cubo com o uso do paquímetro, que era o instrumento mais preciso que havia na bancada e a balança foi usada para medir diretamente a massa” |
| 3. | “A densidade teórica do latão é $8,6 \text{ g/cm}^3$ e encontramos $7,54 \text{ g/cm}^3$. Embora o método usado pelo grupo não esteja errado, o valor encontrado não condiz com o teórico” |
| 4. | “Dessa forma não, pois pode estar ‘descalibrado’ o equipamento; usando equipamentos super precisos e muito bem calibrados e realizando as medidas muitas vezes para se ter uma média e o desvio” |
| 5. | “Balança; o material do bloco; tem o erro do equipamento usado (paquímetro)” |

Fonte: elaborado pelos autores a partir de pesquisa realizada em setembro/2012.

Investigando o Grupo A, constatou-se que o procedimento associado à coleta se apresenta no **Paradigma Pontual**, pois indica que a medição direciona a um único valor, ao invés de contribuir para um intervalo, nesse sentido, para o referido grupo, uma única boa medição seria suficiente. Apesar dos poucos dados coletados, o processamento dos dados caracterizou-se pelo **Paradigma de Conjunto**, quando os mesmos combinaram as medições efetuadas usando constructos teóricos para caracterizar o conjunto como um todo, no caso, o valor médio. Ao final, no momento da comparação dos valores obtidos com o valor teórico, os estudantes do grupo afirmaram que “*houve um equívoco na parte de leitura do paquímetro e a balança encontrou-se descalibrada, diante destas circunstâncias nossa medida apresentou-se próxima ao tabelado*”. Tal afirmação, baseada na proximidade entre dois valores (compreensão alternativa à científica), e não entre intervalos (compreensão científica), indica novamente características do **Paradigma Pontual**. Ressalta-se que o grupo, apesar de conhecer os fatores que influenciaram o resultado, não souberam expressá-los numericamente, em termos de incertezas, representando um intervalo no qual o valor da densidade poderia encontrar-se. Assim, a categoria de compreensão conceitual apresentada pelo Grupo A pode ser definida como **Alternativa com Fragmentos Científicos**,

pois inclui um subconjunto dos critérios de concepções alternativas indicado pela presença de fragmentos alternativos relacionadas ao Paradigma Pontual, com apenas um aspecto científico do Paradigma de Conjunto.

Na análise do Grupo B, foi constatado que, durante a coleta de dados, os integrantes do grupo consideraram cada medição como apenas uma aproximação do valor verdadeiro, e os desvios do valor verdadeiro foram considerados aleatórios; nesse sentido, as ações e raciocínios referentes à coleta de dados podem ser considerados como pertencentes ao **Paradigma de Conjunto**. Em relação ao processamento dos dados, o grupo também utilizou constructos teóricos do **Paradigma de Conjunto** para determinar a melhor aproximação do valor medido por meio do valor médio, considerando várias medições para formar uma distribuição que se agrupou em torno de valor em particular para cada variável medida (massa e volume) e por distintos instrumentos (balança, paquímetro e proveta graduada). O Grupo B concluiu que “*a densidade teórica do latão é $8,6 \text{ g/cm}^3$ e encontramos $7,55 \text{ g/cm}^3$. Embora o método usado pelo grupo não esteja errado, o valor encontrado não condiz com o teórico*”. Assim como ocorreu no Grupo A, tal afirmação é baseada somente no valor médio, sendo que é necessário o desvio padrão para definir um intervalo com o qual podemos relacionar tanto a melhor estimativa quanto a confiabilidade da medição. Conclui-se, portanto, que a comparação de dados é realizada com base no **Paradigma Pontual**. Por fim, podemos inferir que as ações e os raciocínios dos participantes do Grupo B encontram-se na categoria de compreensão conceitual **Científica com Fragmentos Alternativos**, pois possuem um subconjunto de aspectos do Paradigma de Conjunto, com, no máximo, um Fragmento Alternativo.

Considerações finais

Em síntese, ambos os grupos não se classificaram na categoria de compreensão conceitual científica. Nesse sentido, podemos afirmar que ambos os grupos não são capazes de coordenar todos os aspectos do Paradigma de Conjunto. Apesar disso, não podemos afirmar que todos os estudantes se encontram no Paradigma Pontual, pois os mesmos apresentam características intermediárias de ambos os paradigmas, confirmando a hipótese prevista por Lubben et al. (2001). Por esse motivo, um refinamento analítico para além dos paradigmas da medição teorizados por Buffler, Allie e Lubben (2001) se justifica, constituindo um avanço em relação às pesquisas em Ensino de Física ligadas à compreensão conceitual dos estudantes frente à uma situação de medição.

Como visto, ambos os grupos necessitam ainda aprimorar suas ações e raciocínio sem direção a um Paradigma de Conjunto consistente, contudo, ambos partem de categorias de compreensão distintas, de modo que os caminhos conceituais para a aprendizagem, sugeridos em Adadan, Trundle e Irving (2010), sejam, essencialmente, únicos a cada estudante, os quais serão aprofundados em futuros trabalhos.

O referencial analítico proposto poderá auxiliar no estabelecimento de um quadro teórico no qual o professor seja capaz de acompanhar a aprendizagem de seus estudantes em um domínio no qual as estruturas conceituais no início da instrução laboratorial dos mesmos possam ser fundamentalmente reestruturadas, a fim de permitir a compreensão da natureza da medição e da incerteza por meio da aquisição de conceitos e procedimentos científicos relacio-

nados ao Paradigma de Conjunto, contribuindo para o entendimento do complexo conjunto de múltiplas representações (AINSWORTH, 1999), presentes na aprendizagem dos estudantes, relativas ao tema.

Acreditamos que novas abordagens didáticas com relação ao tema podem ser exploradas, como, por exemplo, reunir uma abordagem probabilística da medição com uma estratégia de ensino multirrepresentacional sobre a natureza da medição científica aplicada em um laboratório didático. Nesse sentido, a integração dos procedimentos relacionados com coleta, processamento e comparação de dados, assim como as dificuldades para tal integração, poderão ser melhor observadas e analisadas por meio das conversões entre representações (DUVAL, 2004), constituindo um refinamento analítico da compreensão sobre o modo com que os estudantes avançam em seus caminhos conceituais relativos à medição, o qual será explorado em estudos posteriores.

Os conceitos de probabilidade e de incerteza devem ser abordados o mais cedo possível no processo de ensino dos fundamentos da Física, com destaque para a incerta e provável, porém quantificável, natureza do conhecimento científico. Finalmente, a linguagem da metrologia probabilística oferece acesso a outras áreas da Física, como mecânica quântica e mecânica estatística, bem como às tecnologias atuais, como processamento de imagem. Em uma perspectiva mais ampla, o domínio da compreensão da interpretação dos dados, e, portanto, da avaliação da “evidência científica”, torna-se uma habilidade essencial para a vida na atual era da informação (ALLIE et al., 2003, p. 29).

Referências

ADADAN, E.; IRVING, K. E.; TRUNDLE, K. C. Impacts of multi-representational instruction on high school students' conceptual understandings of the particulate nature of matter. **International Journal of Science Education**, Abingdon, v. 31, n. 13, p. 1743-1775, 2009.

_____. Exploring grade 11 students' conceptual pathways of the particulate nature of matter in the context of multirepresentational instruction. **Journal of Research in Science Teaching**, Hoboken, v. 47, n. 8, p. 1004-1035, 2010.

AINSWORTH, S. The functions of multiple representations. **Computers & Education**, Oxford, v. 33, n. 2-3, p. 131-152, 1999.

ALLIE, S. et al. First year physics students' perceptions of the quality of experimental measurements. **International Journal of Science Education**, Abingdon, v. 20, n. 4, p. 447-459, 1998.

_____. Teaching measurement in the introductory physics laboratory. **The Physics Teacher**, Melville, v. 41, n. 7, p. 394-401, 2003.

BUFFLER, A.; ALLIE, S.; LUBBEN, F. The development of first year physics students' ideas about measurement in terms of point and set paradigms. **International Journal of Science Education**, Abingdon, v. 23, n. 11, p. 1137-1156, 2001.

CAMARGO FILHO, P. S.; LABURÚ, C. E. Uma proposta de referencial analítico de gráficos cartesianos de cinemática a partir de tabelas. **Ensaio: pesquisa em educação em ciências**, Belo Horizonte, v. 15, n. 1, p. 49-65, 2013.

DUNCAN, R. G.; HMELO-SILVER, C. E. Learning progressions: aligning curriculum, instruction and assessment. **Journal of Research in Science Teaching**, Hoboken, v. 46, n. 6, p. 606-609, 2009.

DUVAL, R. **Semiosis y pensamiento humano: registros semióticos y aprendizajes intelectuales**. 2. ed. Cali: Universidad del Valle, Instituto de Educación y Pedagogía, 2004.

EVANGELINOS, D.; PSILLOS, D.; VALASSIADES, O. An investigation of teaching and learning about measurement data and their treatment in the introductory physics laboratory. In: PSILLOS, D.; NIEDDERER, H. (Ed.). **Teaching and learning in the science laboratory**. Dordrecht: Kluwer, 2002. p. 179-190.

_____. Undergraduate students' views about the approximate nature of measurement results. In: KOMOREK, M. et al. (Ed.). **Proceedings of the Second International Conference of the European Science Education Research Association**. Kiel: IPN Press, 1999. v. 1, p. 208-210.

JOURNEAUX, R.; SÉRÉ, M. G. Traitement statistique des incertitudes en physique: problèmes scientifiques et didactiques. **European Journal of Physics**, Bristol, v. 15, n. 6, p. 286-292, 1994.

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

KIRSCHNER, P. A. Epistemology, practical work and academic skills in science education. **Science & Education**, Hoboken, v. 1, n. 3, p. 273-299, 1992.

KUHN, T. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 1987.

LABURÚ, C. E. Seleção de experimentos de física no ensino médio: uma investigação a partir da fala de professores. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 1-19, 2005.

LABURÚ, C. E.; BARROS, M. A. Problemas com a compreensão de estudantes em medição: razões para a formação do paradigma pontual. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 151-162, 2009.

LABURÚ, C. E.; SILVA, O. H. M. O laboratório didático a partir da perspectiva da multimodalidade representacional. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 17, n. 3, p. 721-734, 2011a. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-73132011000300013>>. Acesso em: 20 ago 2015.

LABURÚ, C. E.; SILVA, O. H. M. Multimodos e múltiplas representações: fundamentos e perspectivas semióticas para a aprendizagem de conceitos científicos. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 7-33, 2011b. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID252/v16_n1_a2011.pdf>. Acesso em: 20 ago 2015.

LABURÚ, C. E.; SILVA, O. H. M.; FORÇA, A. C. Acurácia na retirada da medida instigada por uma estratégia de ensino de orientação kuhniana. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, SP, v. 34, n. 2, p. 2503(1)-2503(6), 2012. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/342503.pdf>>. Acesso em: 20 ago 2015.

LABURÚ, C. E.; SILVA, O. H. M.; SALES, D. R. Superações conceituais de estudantes do ensino médio em medição a partir de questionamentos de uma situação experimental problemática. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 32, n. 1, p. 1402-1415, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11172010000100012>>. Acesso em: 20 ago 2015.

LARCHER, C.; SÉRÉ, M-G.; JOURNEAUX, R. Dificultés dans l'apprentissage du mesurage. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 12, n. 2, p. 217-225, 1994. Disponível em: <<http://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21360/93315>>. Acesso em: 20 ago 2015.

LEACH, J. The use of secondary data in teaching about data analysis in a first year undergraduate biochemistry course. In: PSILLOS, D.; NIEDDERER, H. (Ed.). **Teaching and learning in the science laboratory: a book based on the European project Labwork in Science Education** co-ordinated by Marie-Geneviève Séré. New York: Kluwer, 2002. p. 165-178.

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

LUBBEN, F. et al. Point and set reasoning in practical science measurement by entering university freshmen. **Science Education**, Hoboken, v. 85, n. 4, p. 311-327, 2001.

MARINELLI, 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, 497-505, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11172006000400012>>. Acesso em: 20 ago 2015.

MILLAR, R. Towards a role for experiment in the science teaching laboratory. **Studies in Science Education**, Abingdon, v. 14, n. 1, p. 109-118, 1987.

SÉRÉ, M-G. Towards renewed research questions from the outcomes of the European Project Labwork in Science Education. **Science Education**, Hoboken, v. 86, n. 5, p. 624-644, 2002.

SÉRÉ, M-G.; JOURNEAUX, R.; LARCHER, C. Learning the statistical analysis of measurement errors. **International Journal of Science Education**, Abingdon, v. 15, n. 4, p. 427-438, 1993.

WELZEL, M. et al. **Teachers' objectives for labwork**: research tool and cross country results. Brussels: European Commission, 1998. (Working paper, 6). Disponível em: <<http://www.idn.uni-bremen.de/pubs/Niedderer/1998-LSE-WP6.pdf>>. Acesso em: 20 ago 2015.

WHITE, R. T.; ARZI, H. J. Longitudinal studies: designs, validity, practicality, and value. **Research in Science Education**, Dordrecht, v. 35, n. 1, p. 137-149, 2005.