

**PROBLEMAS COM A COMPREENSÃO DE ESTUDANTES EM MEDIÇÃO:
RAZÕES PARA A FORMAÇÃO DO PARADIGMA PONTUAL**
(Problems with students' comprehension of measurement: reasons for the formation of the Punctual Paradigm)

Carlos Eduardo Laburú* [laburu@uel.br]

Departamento de Física, Universidade Estadual de Londrina

Cx.P. 6001, 86051-970, Londrina, PR, Brasil.

Marcelo Alves Barros** [mbarros@ifsc.usp.br]

Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil.

Resumo

O âmbito de reflexão deste trabalho encontra-se ligado ao processo de medição na escola. Análises de estudantes mostram que o processo de medição é um assunto de difícil compreensão para eles. Quando defrontados com a necessidade de realizar ou analisar medidas, estes sujeitos manifestam diversas representações antagônicas à visão científica. Veremos que a literatura em educação científica reúne as diferentes representações sobre medição no denominado Paradigma Pontual. Todavia, apenas dois estudos procuram dar uma interpretação para as representações, sendo que um deles, tão somente, faz uma menção de passagem, pois seu centro de atenção está voltado para a explicitação das representações. Na tentativa de dar uma explicação para as representações dos sujeitos, esse par de estudos permite entender as fontes que alimentam e que são responsáveis pela origem do Paradigma Pontual. Concentrados nesse objetivo, este artigo procura juntar às interpretações existentes uma explicação alternativa e complementar. Com isso, pretendemos colaborar para o aprofundamento e maior inteligibilidade desse objeto de estudo.

Palavras-Chave: Medição, experimento, representação.

Abstract

The ambit of reflection of this work is linked to the measurement process in the school. Students' analyses show that the measurement process is a subject of difficult understanding for them. When confronted with the need of to accomplish or to analyze measures, these subjects manifest several antagonistic representations to the scientific vision. We will see that the literature in scientific education gathers the different representations about measurement in denominated Punctual Paradigm. However, only two studies try to give an interpretation for the representations, and only one of them mention it in passage, since its center of attention is turned to make explicit the representations. In the attempt of giving an explanation for the representations of the subjects, these two studies allows to understand the sources that feed and that are responsible for the origin of the Punctual Paradigm. Concentrated in that I aim, this article tries to join to the existent interpretations an alternative and complementary explanation. With that, we intended to collaborate for the deepening and larger intelligibility of that study object.

Key words: Measurement, experiment, representation.

Introdução

No ensino das ciências da natureza é praticamente consensual que se deveriam prover os estudantes, em um nível adequado, com considerações científicas acerca do mundo natural e tecnológico, sem que sejam esquecidas as conseqüências cada vez mais importantes de ordem ambiental e social, decorrentes daquele último. Conhecer os conteúdos das ciências da natureza

* Apoio CNPq, Fundação Araucária e FAEPE/UEL.

** Apoio CNPq.

envolve a questão de como os conceitos adquirem seus significados e suporte empírico. A formação das quantidades por meio de experimentos quantitativos não é vista frequentemente pelos professores como parte da compreensão conceitual, nem ao menos é tratada como uma parte não problemática desta (Mäntylä & Koponen, 2007).

De forma geral, ao ser empregada como opção instrucional, a atividade experimental ultrapassa a concepção popular de elemento que traz vida às idéias (Solomon, 1988). Além de desencadeadora da motivação, ela pretende impulsionar a aprendizagem de conteúdos para níveis mais significativos e ser um meio crucial para promover a iniciação ao desenvolvimento epistemológico do inquirir científico e de instigar os estudantes em habilidades cognitivas, de atitudes e práticas (Laburú, 2005; Wellington apud Lavonen, 2004, p. 323; Séré, 2002, p. 626; Hirvonen & Viiri, 2002; Welzel et al., 1998; Germann & Aram, 1996; Hodson, 1994). De fato, como sintetiza Millar (1987), o experimento desempenha um papel central não só para a ciência natural, mas para a educação científica.

No que interessa ao presente trabalho, a primeira das habilidades citadas demanda do aprendiz o desenvolvimento de mecanismos formais de raciocínio, que passa pelo desenvolvimento de aptidões analíticas capazes de reunir informações científicas e que compreende a ciência como questionamento em que os seguintes passos estão presentes: formular questões, propor hipóteses; planejar experimentos e realizar investigações práticas para culminar no teste de hipóteses ou para exercitar um paradigma¹; definir e conduzir observações sistemáticas; organizar e impor uma ordem intelectual aos dados; interpretar e extrair conclusões dos resultados; replicar experimentos (Millar, 1994)².

Como se vê, um ponto crucial que se coloca à educação científica é a necessidade de organizar e impor uma ordem intelectual aos dados, a fim de interpretar e extrair inferências das regularidades. Ora, 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 com os mais variados objetivos, sejam estes baseados em orientações instrucionais fundamentadas no teste de hipóteses ou na aplicação de um paradigma, de inclinações, respectivamente, popperiana e kuhniana, ou, possivelmente, segundo orientações verificacionista ou indutivista, mais corriqueiras e criticáveis. Agora, todos esses objetivos instrucionais envolvem confrontar ou comparar teoria e evidência, que, por sua vez, implica estabelecer relações entre variáveis, processar dados e utilizá-los para suportar uma conclusão. E por terem tais decisões maior importância para as atividades experimentais no ensino de física e química, se comparadas ao ensino de biologia (Tiberghien et al., 2001, p. 493), por exemplo, essa é uma preocupação que não pode ser desprezada quando de um ensino que envolva medição em tais disciplinas das ciências da natureza.

A realização de medidas e a destreza em usar e interpretar dados como evidência para suportar uma conclusão, se confrontadas com outros domínios de investigação, mereceram a atenção de poucos pesquisadores em educação científica até meados dos anos 90. Desde então, o denominado aspecto procedimental dos experimentos quantitativos, que reúne a coleta, o processamento e a comparação de dados necessários para justificar argumentos provocados por padrões dos resultados experimentais ou, conforme Millar (1987), direcionados por imposição

¹ Aqui, o sentido de exercitar é tomado a partir de uma concepção kuhniana. Ou seja, é suposto que a única maneira de saber se um aprendiz realizou um experimento corretamente é inspecionando se os seus resultados estão de acordo com a suas expectativas “paradigmáticas” (Millar, 1987, p. 114).

² Inerente a esses passos, podemos ainda explicitar as habilidades analíticas de ordem mais geral em que entrariam: justificar posições, debater, analisar, sintetizar, resolver problemas, tomar decisões, construir livremente idéias, proposições e argumentos, generalizar, comunicar (Ballin, 2002, p. 362), além de usar logicamente procedimentos e estratégias, saber construir tabelas, saber transpor o raciocínio concreto e a linguagem verbal para uma linguagem e um raciocínio matemático mais abstrato e vice-versa etc.

teórica, mostra-se, tanto quanto os conceitos de física, de grande dificuldade para os alunos adolescentes e universitários iniciantes (Kirschner, 1992; Coelho, 1993; Joureaux & Séré, 1994; Lubben & Millar, 1996; Allie et al., 1998; Buffler et al., 2001; Kanari & Millar, 2004, p. 749). A parte procedimental é, sem dúvida, fundamental para se avaliar quão bem as conclusões são ou não suportadas pelos resultados empíricos. A relevância desse tema é salientada ao vermos Millar (1987, p. 115) afirmar que as incertezas experimentais tornam qualquer sugestão de experimento escolar, para decidir entre teorias em competição, um capricho.

Para Ryder & Leach (2000), entender o processo de interpretação de dados pode ser tão importante quanto compreender, por exemplo, os rudimentos de conceitos de organismos geneticamente modificados ou a radioatividade. Neste último caso, uma investigação feita por Millar e Wynne (apud Ryder & Leach, 2000, p. 1069), logo após o acidente de Chernobyl, em 1986, sugeriu que os indivíduos que esperavam uma explicação científica direta e clara, extraída dos dados, avaliavam os desacordos entre os cientistas como evidência de incompetência ou decisões tendenciosas, em vez de uma dificuldade em interpretar os dados naquele contexto desafiante. Além disso, na educação científica se observa que as posições que os aprendizes carregam para a sala de aula a respeito de como interpretar e tratar dados influenciam as pretendidas orientações pedagógicas de estilo investigatório que o professor planeja para atividades experimentais (p.ex., escolher a melhor hipótese), pois a maneira de compreender dos alunos se acha em oposição às científicas (Laburú, 2003; Ryder & Leach, 2000, p. 1070). Por isso, é sensato quando Osborne (apud Allie et al., 1998) diz que o trabalho experimental deveria focar mais fortemente o entendimento dos procedimentos relativos às medidas.

Dada a importância do assunto, na seqüência, mostraremos que a literatura em educação científica apresenta diversas pesquisas que buscam compreender os problemas que podem ser enfrentados junto aos alunos quando é necessário que eles realizem ou se defrontem com uma medição. Dentre as pesquisas, o trabalho de Buffler et al. (2001) vai se destacar, pois reúne as diferentes e recalcitrantes representações de estudantes, encontradas em estudos anteriores, e as congrega em torno do que os autores denominam de Paradigma Pontual. Em seguida, mostraremos que as existentes tentativas de dar uma interpretação para a origem das representações, que suportam o Paradigma Pontual, podem ser aprofundadas e complementadas com novos e adicionais argumentos. Com isso em mente, delineamos reflexões que buscam na dimensão cognitivista e nas corriqueiras operações matemáticas razões que avancem as interpretações empregadas, para entender a formação do Paradigma Pontual.

Pesquisas de ensino em medição

Dentro das investigações que tratam da relação teoria e evidência empírica há as que examinam a habilidade de jovens crianças de se engajar em raciocínios científicos. Um estudo referência, lastreado na psicologia cognitiva, é o de Kuhn et al. (apud Leach, 1999, p. 790; apud Germann & Aram, 1996, p. 775). Esses autores argumentam que crianças e alguns adolescentes ou mesmo adultos, não mantêm como entidades separadas as suas explicações teóricas sobre um fenômeno e a correspondente prova experimental recolhida. Isso os incapacita a refletir a propósito das teorias em termos de resultados baseados na experiência e, assim, a gerar predições fundamentadas nessas teorias. Em apoio a essa posição, Kirschner (1992) comenta que os estudantes, frequentemente, não apresentam habilidades cognitivas necessárias para ver ou inferir padrões presentes nos dados por eles coletados. Contrariamente, Leach (1999, p. 803) aponta que o problema com esses estudantes é de performance e, conseqüentemente, torna-se passível de ser melhorado pela instrução, não sendo, portanto, uma possível ausência de habilidades em coordenar evidência com teoria a sua razão. Ele sugere que, embora os sujeitos não realizem tal coordenação de maneira lógica e racional, eles são capazes de separá-las (Ibid., p. 803). Dá a entender que o problema da coordenação se deve a, pelo menos, três motivos. O primeiro se localiza no fato das crianças mais novas possuírem uma finalidade diferente daquela pretendida pelo professor. Por

exemplo, ao citar um estudo de Millar e colaboradores, Leach (1999, p. 803) mostra que estudantes entre nove e quatorze anos constantemente vêm o propósito de uma tarefa investigativa de ciências na escola com o objetivo de fazer um fenômeno acontecer, em vez de investigar as relações entre variáveis ou avaliar afirmações conhecidas, pretendidas pelo professor. O segundo motivo liga-se à existência de um domínio de conhecimentos específicos que devem ser considerados na habilidade do sujeito quando extrai relações lógicas entre afirmações e evidências (Koslowski apud Leach 1999, p. 791; Masnick & Klahr 2003, p 76). Por último, afirma que hipóteses entre entidades visíveis são mais fáceis de estabelecer uma correlação causal do que entre entidades invisíveis³. Neste último caso, o processo de coordenação entre teoria e evidência é mais complexo (Leach, 1999, P. 791).

Kanari & Millar (2004, p. 750) observam que os trabalhos citados se concentram nas formas lógicas do pensar e omitem os raciocínios com dados numéricos, característica, segundo eles, que distingue o pensamento científico do lógico, ou como melhor diríamos, puramente formal. Sempre que as pesquisas utilizam dados desse tipo, elas costumam fornecê-los aos alunos para serem analisados (p.ex., Allie et al, 2002; Buffler et al, 2001; Ryder & leach, 2000; Lubben & Millar, 1996). Muito praticada nas investigações realizadas, essa forma de proceder diferencia-se das praticadas nos trabalhos de Cauzinille-Marmeche et al. (1985) e Kanari & Millar (2004), que permitem aos investigados a realização das medidas. Particularmente, este último trabalho se concentra nas abordagens e habilidades de estudantes de dez a quatorze anos em coletar e interpretar dados no momento em que examinavam relações entre variáveis. As conclusões chegadas são as seguintes. Os estudantes têm maiores dificuldades em interpretar dados do que o teriam com os raciocínios lógicos envolvidos com eles, como é o caso em que há necessidade em discernir as implicações da interpretação dos dados frente às hipóteses correntes, ou quando há necessidade de controlar variáveis. Porém, para Kanari & Millar (2004) é mais relevante a dificuldade de interpretar dados, especificamente em relação a investigar variáveis que afetam ou não um resultado. Eles observaram que os estudantes de todas as idades pesquisados tinham menos sucesso em investigações quando a variável dependente não apresentava covariação com a variável independente, do que quando isso ocorria (p. 767). A razão disso estava nos erros experimentais que mascaravam a ausência de covariação, e a menos que os erros sejam grandes é improvável que eles escondam um efeito com forte covariação (p. 752). Assim, segundo os autores, a grande diferença entre as respostas corretas nas tarefas em que há covariação e nas que não há covariação é creditada ao erro experimental, e não ao contexto das tarefas, ao conhecimento do conteúdo dos estudantes ou às suas hipóteses iniciais (p. 767).

Ademais, em relação aos dados numéricos, vemos que os alunos vêm para a escola com diversas visões, abordagens e procedimentos para tratá-los, que justificam a afirmação de Millar (1987, p. 115), citada anteriormente, que diz que é simplesmente um capricho imaginar a utilização de experimentos escolares como uma atividade pedagógica possível para decidir entre teorias, ou mesmo, acrescentando, como uma forma de testar, revelar ou até verificar uma teoria específica. Ao se considerar essa posição do autor, podemos estar a limitar uma variedade de atividades pedagógicas empíricas adequadas para desenvolver habilidades analíticas ligadas aos procedimentos de coleta e análise de dados, que são possíveis de começar a ser exploradas no ensino básico. Isto, sem mencionarmos que se está a violar um mecanismo primaz de exploração e produção do conhecimento científico, além do que, como lembram Mäntylä & Koponen (2006, p. 311), a formação das quantidades, pela transformação das qualidades através de experimentos quantitativos, é uma forma de compreensão conceitual.

Vários trabalhos dirigem seu foco de atenção para os critérios de tomada de decisão e de procedimentos seguidos por estudantes quando realizam medidas, assim como às suas habilidades

³ Permitir-nos-íamos estender esse argumento e dizer que uma correlação causal é facilitada quando as variáveis ou entidades responsáveis pela correlação fazem sentido para o sujeito.

em usar medidas como evidências para tirar conclusões. Lubben e Millar (1996) informam que muitos estudantes realizam observações ou fazem medições sem estarem aparentemente conscientes de que existem incertezas associadas ao processo de medida ou que precisam ser capazes de defender os seus dados como confiáveis, apesar das incertezas (p. 956). Como decorrência, os dados obtidos pelos estudantes provêm um suporte fraco e não persuasivo às conclusões por eles extraídas. Um trabalho precursor nesse tipo de pesquisa é o de Cauzinille-Marmeche et al. (1985). Nele, os autores resumem as principais e mais comuns formas de pensamento de estudantes, de idades entre onze e treze anos, a respeito de realizar medidas, que são: a) Raramente os aprendizes decidem replicar seus experimentos, já que esperam que os resultados sejam sempre iguais ao primeiro obtido (p. 206); b) A sobreposição entre distribuições de dados joga um papel fundamental na tomada de decisão sobre a influência de uma variável - um quarto dos sujeitos investigados (p. 207) fica confuso e não chega à conclusão sobre o efeito da variável, se houver sobreposição entre alguns dados de duas amostras; c) A maioria das crianças não tem um critério de decisão para comparar um conjunto de dados e algumas se negam a cotejar conjuntos de medidas ou médias, por não lhes ter significado (p. 208). A respeito disto, Masnick e Klahr (2003, p. 88) observaram que crianças na faixa etária dos sete aos dez anos nem ao menos têm idéia de usar média para representar um conjunto de dados, apesar de constatarem que elas já eram capazes de reconhecer potenciais fontes de erros num experimento quantitativo, quando estes se ajustavam aos seus conhecimentos prévios (p. 77).

Por Lubben & Millar (1996) se consegue compreender que raciocínios estão por detrás da primeira forma de Cauzinille-Marmeche et al. (1985), acima. Vemos isso quando aprendizes, com idades entre onze e dezesseis anos, declaram que repetir medidas é perda de tempo e, dependendo da situação, desperdício de material, pois o resultado de uma medida é tão bom quanto qualquer outro. Entende-se que se pode ficar com quaisquer dos valores obtidos, pois, por mais que se proceda, eles serão sempre diferentes. Além do mais, caso se faça o experimento com cuidado, e o equipamento for adequado, sua medida será a correta. Por outro lado, alguns sujeitos repetem o procedimento para ver se a medida inicial reaparece ou acreditam que o resultado mais recorrente é a resposta procurada (p. 958). Outros dão maior importância ao primeiro ou ao último resultado, justificando, respectivamente, que o equipamento está limpo no início da atividade ou porque se adquire melhor destreza após várias tentativas. Às vezes, imagina-se que um valor particular representa o conjunto, em razão de estar aproximadamente equidistante dos valores extremos, conforme, também, encontraram Masnick e Klahr (2003, p. 89). Por sua vez, Coelho e Séré (apud. Buffler et al., 2001, p. 1138) observam que muitos alunos entre quatorze e dezessete anos acabam terminando seus estudos de laboratório com a idéia de que a incerteza fica inteiramente eliminada ao ser realizada uma única medida e que a relação entre um conjunto de medidas e a incerteza associada pode ser claramente definida.

Lubben & Millar (1996, p. 957) elaboraram 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, e que Allie et al. (1998) testaram em alunos de primeiro ano universitário. 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 numa coleção 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 & 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 (p. 962). Entretanto, vinte por cento dos respondentes reconhecem nos dados mais espalhados uma maior confiança (p. 963). Os dois trabalhos anteriores não pesquisaram, entretanto, a importante possibilidade de haver duas amostras em que uma média não esteja contida dentro do conjunto de dados da outra, ainda que exista uma sobreposição nas dispersões dos dados. Tal possibilidade é estudada em Buffler et al. (2001) quando examinam duas amostras contendo diferentes médias com iguais incertezas, agora, ambas explicitadas para os alunos, com a finalidade de investigar a efetividade da instrução em estudantes universitários que completam um curso de 36 horas de laboratório em que se ensinam erros experimentais⁴.

Buffler et al. (2001) reúnem os seus resultados com os de Lubben & Millar (1996) num modelo-síntese denominado Paradigma Pontual e de Conjunto. Essas denominações mantêm paralelo com o conceito kuhniano 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 congrega raciocínios que levam à compreensão de que apenas uma única medida é suficiente e que há um verdadeiro valor a ser encontrado, não existindo a necessidade de se obter mais do que um resultado experimental. Cada medida é independente das outras e é auto-suficiente para tomar decisões, logo, não precisa ser combinada de maneira alguma com as demais. Por isso, uma medida a ser obtida é concebida como conduzindo a um único valor, em vez de pertencer a um intervalo de confiança. Se uma série de medidas é feita, as decisões subsequentes são tomadas somente com base em reflexões pontuais, tais como: seleção do valor recorrente; posição na tabela (extremos ou equidistante); comparação feita de valor para valor. Segue disto, a falta de sentido em tirar médias numa amostra e, por conseguinte, de erro inerente a uma medida (Buffler et al., 2001, p. 1139). O Paradigma de Conjunto, por oposição, é caracterizado pela noção básica de que cada medida é somente uma aproximação do valor verdadeiro e que o afastamento desse valor é aleatório. Como consequência, requer-se um número de medidas para formar uma distribuição que se agrupa em torno de um valor. A melhor informação para estimar o valor verdadeiro é obtida pela combinação de medidas. Para isso, construtos teóricos são utilizados de modo a caracterizar e descrever o conjunto das medidas como um todo, e para realizar comparações com outras coleções de dados ou com a teoria (op. cit.).

A rigor, o limite de abrangência conceitual mais elaborado do Paradigma de Conjunto consolida-se na Teoria de Erros (Vuolo, 1992). 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*” (op. cit., p. 38) bem definido para toda grandeza física experimental, caracterizado por meio de um modelo para o fenômeno físico⁵. Ocorre que esse valor é sempre desconhecido, pois fatalmente existem inevitáveis erros experimentais quando se realiza uma medida. Por melhores que sejam os métodos e os instrumentos de medida, o valor encontrado para a

⁴ Especificamente, o exemplo estudado por Buffler et al. (op. cit) foi a comparação das medidas $d_1 = 434 \pm 5$ versus $d_2 = 442 \pm 5$. Note-se, também, que ao se investigar amostras com médias semelhantes e com diferentes ou iguais dispersões está-se a enfatizar, no fundo, a importância da precisão, logo, dos erros aleatórios, também chamados de erros estatísticos ou acidentais. Em contraposição, a acurácia faz alusão a erros sistemáticos e à proximidade com o valor verdadeiro (Vuolo, 1992, p. 69).

⁵ Não é demais observar que “valor verdadeiro” não deve ser confundido com verdadeiro valor já explicado anteriormente. A segunda denominação (valor alvo), em vez de “valor verdadeiro”, evitaria confusão, mas ambos se referem a um número idealizado por um modelo físico.

grandeza física será, em qualquer ocasião, uma aproximação do “valor alvo”⁶. Torna-se evidente que o “valor verdadeiro” de uma grandeza física experimental é o objetivo final de um processo de medida (ibid.). Daí ser necessário um número de medidas para formar uma distribuição que congregue certos valores particulares. Essencialmente, após medirmos determinada grandeza, devemos obter uma estimativa do espalhamento numérico do seu valor para avaliarmos quão adequada é a grandeza. Para isso, precisamos indicar uma estimativa de quão afastado o nosso resultado pode estar do “valor verdadeiro”, algo como (Helene et al., 1991, p. 15):

$$\text{Resultado} = \left[\begin{array}{c} \text{Estimativa do valor da grandeza} \\ \text{medida} \end{array} \right] \pm \left[\begin{array}{c} \text{Estimativa do quão longe o} \\ \text{valor verdadeiro pode estar da} \\ \text{estimativa que temos dele} \end{array} \right] \quad (1)$$

Ora, em havendo somente erro estatístico, a melhor informação para representar o “valor alvo” é obtida pela combinação do maior número de medidas possível⁷. No caso de uma coleção de dados⁸, o valor médio é a melhor estimativa do “valor verdadeiro” da medição. Ademais, a estimativa de quão longe se encontra essa média do “valor alvo” é dada pelo desvio padrão da média. A apresentação final do resultado de um experimento se dá na forma (op. cit., p. 17):

$$\text{Resultado} = [\text{Valor Médio} \pm \text{Desvio Padrão da Média}] \quad (2)$$

O nível de confiança do resultado é de 68%, ou seja, o “valor verdadeiro” tem 68% de probabilidade de ser encontrado no intervalo dado pelo resultado da expressão 2. Essa expressão é o melhor que podemos fazer, no sentido de ser a forma mais completa de representar o resultado de um experimento, e a melhor delas entre todas as possíveis, sempre que os dados obedecerem à distribuição normal (ibid.). Com essa expressão consegue-se realizar comparações entre amostras ou de uma evidência com uma ou mais teorias.

As ferramentas operacionais acessíveis para a determinação da expressão 2 incluem procedimentos formais matemáticos para a obtenção da média e desvio padrão da média e que devem ser usados para caracterizar a amostra de dados como um todo. Contudo, a Teoria de Erros não se esgota nessas ferramentas operacionais e conceituais, mas igualmente abarca o emprego de aparelhos, métodos e processos de medição. Seus fundamentos ainda incluem os seguintes conceitos: Algarismos significativos, distribuição normal, erro instrumental, barra de erro, dado grosseiro, ajustes por regressão linear e polinomial, propagação de erros, covariância, variáveis estatisticamente independentes, verossimilhança, acurácia, precisão, entre outros (Vuolo, 1992), sendo todos esses conceitos lugar comum nos livros especializados sobre o assunto.

Agora, se considerada uma situação de ensino mais elementar, onde se principia um primeiro contato conceitual com o procedimento de medição, as inter-relacionadas noções de imprecisão de uma medida, intervalo de incerteza, flutuação aleatória, valor mais provável e média são construtos nucleares do Paradigma de Conjunto, que devem ser aprendidos quando se tem o objetivo de empregar um experimento quantitativo.

⁶ Uma grandeza física só pode ter “valor verdadeiro” conhecido quando a grandeza pode ser definida como um número exato. Mas essas grandezas não podem ser consideradas como grandezas experimentais, no sentido dado pelo texto (Vuolo, 1992, p. 38).

⁷ Procedimento válido se a sensibilidade dos instrumentos de medida - definida como a metade da diferença entre dois valores mais próximos que se pode discriminar entre si na operação de medida, e que também é chamada de erro de calibração (Vuolo, 1992, p. 122) -, for menor ou igual ao desvio padrão (Lang da Silveira et al., 1983).

⁸ Estatisticamente independentes e de distribuição normal.

Interpretações para a formação do Paradigma Pontual

Neste instante vamos expor as explicações encontradas na literatura para a formação do Paradigma Pontual, responsável por congregar as representações de sujeitos sobre medição, e na sequência encaminhamos mais algumas explicações que procuram complementar sua compreensão. Como é possível inferir das pesquisas citadas, as representações não surgem somente de alunos que não se submeteram a uma instrução sobre o assunto, mas continuam presentes mesmo após ter havido ensino a respeito do tópico. Tal acontecimento evidencia a pouca efetividade do encaminhamento de um didatismo tradicional em romper as noções persistentes do paradigma em foco.

Um primeiro trabalho que permite dar uma interpretação para o Paradigma Pontual é o de Coelho e Séré (apud. Buffler et al., 2001, p. 1138). As duas autoras comentam que a idéia existente de uma medida única e verdadeira, encontrada por detrás desse paradigma, vem da manifestação de um espontâneo e profundo realismo dos sujeitos, e da natureza fechada de muitas tarefas dos laboratórios didáticos. Tarefas deste tipo transmitem uma visão epistemológica ingênua da ciência, como uma reunião de fatos a serem aprendidos, e que acabam por reforçar a expectativa dos estudantes de que existe um valor singular exato para um resultado experimental. Isso é reforçado quando se destacam receitas clássicas ligadas a determinação das incertezas de leitura de instrumentos, sem que haja uma preocupação com as causas físicas das dispersões dos erros, pois neste caso, em geral, as medidas não são repetidas (Journeaux & Séré, 1994, p. 286). Numa perspectiva semelhante, Marineli e Pacca (2006) realizam uma interpretação das representações de estudantes brasileiros de licenciatura em física, obtidas a partir da análise de material escrito, constituído de exercícios e relatórios, produzido em atividades realizadas no laboratório didático. Em concordância com o trabalho anterior, Marineli e Pacca (ibid.) afirmam que as dificuldades observadas se relacionam à visão de mundo e de ciência desses estudantes, e que elas não resultam simplesmente da falta de habilidade em lidar com instrumentos ou com teorias estatísticas utilizadas nos cálculos. Os autores interpretam essas dificuldades em relação ao processo de medir atribuindo-as à concepção de realidade e ao experimentador. Dizem que os alunos revelam construções epistemológicas ingênuas, vindas da sua interação com o cotidiano e que são transpostas para a esfera científica. A idéia de flutuação dos dados, por exemplo, é algo considerado negativo, porque seu sentido está associado à geração de resultados incertos, que não deveriam acontecer. A flutuação não é concebida como inerente ao processo de obter o fenômeno ou objeto, portanto, incertezas experimentais não são esperadas (ibid.). Em decorrência, o valor de uma medição é raciocinado como sendo acessível, exato, único e verdadeiro. A diferença entre o que é imaginado e o que acontece atribui-se ao fator humano, ou seja, este obscurece o conhecimento do dado. A princípio, as falhas humanas poderiam ser corrigidas com equipamentos precisos ou evitadas. Entendem os autores que sob este pensamento há uma falta de diferenciação entre erros sistemáticos e aleatórios, sendo os primeiros identificados como humanos. Do ponto de vista dos alunos, a solução para o problema de acesso correto ao fenômeno encontra-se tanto no afastamento da interferência humana, para que não se cometa nenhuma incorreção pessoal, como no estabelecimento de uma situação experimental e instrumental em condições perfeitas, para que seja obtida a medida correta e única.

É possível avançar na compreensão das raízes responsáveis pela formação do Paradigma Pontual, observando que a sua influência, como força de reação à tentativa de ensinar os conceitos ligados ao Paradigma de Conjunto, é muito aguda. Para isso, busquemos entre os mecanismos cognitivos da teoria de Piaget uma das referências que contribuem para as interpretações apresentadas. Percebe-se que, contrariamente ao Paradigma Pontual, o Paradigma de Conjunto se insere dentro de uma dimensão cognitiva que opera, fundamentalmente, sob o mecanismo do “*possível*” e não de um falso “*necessário*” (Piaget, 1987, p. 51 e 53). Isso quer dizer que uma transformação conceitual do Paradigma Pontual para o de Conjunto torna-se dependente de uma superação cognitiva. Uma superação que só acontece se houver uma condução da concepção de

medição, estruturada na pseudo-necessidade de um particular e obrigatório valor único e exato, que prescinde de uma noção de um intervalo de valores, em direção ao conceito de um provável “valor alvo” desconhecido, intrinsecamente correlacionado a também uma provável incerteza, igualmente desconhecida, ficando ambos vinculados, em razão disso, à esfera cognitiva das possibilidades. Numa linha de argumentação que tem proximidades com a que vem sendo conduzida pelos trabalhos anteriores, o surgimento das pseudo-necessidades, segundo Piaget, é resultado da construção de experiências ainda dominadas por uma realidade com pouca abertura para novos possíveis, em que o conhecimento do mundo não se diferencia de uma cópia da realidade externa (Vuyk, 1981, p. 180 e 181). Afastar-se desse modo de pensar, é conceber a medida e incerteza como pertencentes a um conjunto de uma totalidade ilusória de possíveis valores, isomorfas de um pensamento estatístico, fechadas num tratamento lógico-matemático, e que carrega a dependência de uma multiplicidade de possíveis causas. Esta multiplicidade de causas influencia na obtenção de uma medida e leva à noção de erro experimental. Portanto, os fundamentos do Paradigma de Conjunto se voltam para uma forma de pensamento abstrato que aprendizes mais novos encontram-se cognitivamente limitados ou que, os de maior idade, estando em processo de desenvolvimento, acabam por se apresentar impedidos quando se faz preciso atingir uma mais completa compreensão sobre o assunto. Por essas considerações, a menção de Marineli e Pacca (2006), de que as dificuldades com a medição dos estudantes universitários iniciantes não é resultado direto de uma falta de habilidade para lidar com as teorias estatísticas utilizadas nos cálculos, é parcialmente verdadeira e não permite, automaticamente, ser transferida para o ensino básico. O conhecimento estatístico e, conseqüentemente, o conceito de medição a ele coligado, acha-se intimamente imbricado a uma tomada de consciência da dissociação do real e do possível frente ao necessário (Piaget, 1987), sem a qual esse conhecimento não se apreende. Por conseguinte, uma performance em estatística, que fuja do simples mecanicismo automático, envolve tal mecanismo de tomada de consciência.

Indissociável da vertente cognitiva apresentada, outras duas fontes desencadeadoras do Paradigma Pontual podem ser identificadas junto a indiferenciados pensamentos matemáticos que costumam ser usados. Note-se que, no momento em que é preciso praticar raciocínios matemáticos, lidamos com dois tipos diferentes de atividades: a primeira, envolvendo contagem de elementos discretos, separados e indivisíveis (como grãos de feijão), e a segunda, envolvendo medida de quantidades contínuas e, na imaginação, infinitamente divisíveis (Baron, 1985, p. 22).

De um ponto de vista matemático, as operações de contagem e medição estão relacionadas, pois utilizamos a contagem de números para a medição (ibid.). Todavia, primeiramente, cabe compreender de que forma a correspondência e a não diferenciação da operação aritmética de contagem, ou numeração, de algo, e a medição de uma grandeza física podem ocorrer. Para isso, seja o caso do uso do número “um” usado como referência para alguma coisa contada ou numerada, e o número “um” de um metro que se faz alusão a um comprimento da mesma coisa (p.ex., 1 régua e 1m de régua, respectivamente). Nesta situação, pode acontecer que os dois números “1” estejam indiferenciadamente construídos, de tal maneira que o estatuto matemático de número exato (contagem ou numeração) do primeiro “um” corresponde ao segundo, sendo que este último vem da grandeza física espacial (medida de comprimento). Um segundo ponto surge do seguinte pensamento alternativo e equivalente. Admitamos a mesma operação matemática anterior aplicada à avaliação de uma grandeza física. Suponhamos a necessidade de quantificar uma extensão específica, utilizando uma unidade convencional dada pelo comprimento de uma régua usada como padrão. O pensamento mais imediato é imaginar que a extensão especificada equivalha a um determinado valor exato, p.ex., quatro régua e um sexto ($4\frac{1}{6}$). Ora, vê-se que há nesse raciocínio uma operação matemática de medição que trata o resultado da medida como um número perfeito. De fato, a aplicação indiscriminada dessa operação de pensamento aritmética, pertencente à esfera de concepção matemática, passa a ser transposta diretamente para uma de natureza física. Então, o que se observa, é uma noção de exatidão, de certeza, vinculada à medida matemática, estendendo-se

para as medições físicas. Apesar de se apoiar na primeira, a compreensão desta última necessita ultrapassá-la, porquanto envolve uma dimensão cognitiva ligada ao possível, como vimos, e que, ademais, tem intrinsecamente a ver com um conceito de incerteza. Este, por sua vez, fica dependente da construção mais elaborada de um pensamento causal que se encontra atrelado a cada operação das grandezas físicas (Martins, 1982) e suas inerentes e possíveis fontes de erros experimentais.

Logo, as três análises postas, de ordem cognitiva e de inexistência de uma separação entre uma noção matemática de contagem ou numeração e uma medida física, ou entre esta e a medida matemática, são interpretações que auxiliam a completar as existentes nos estudos referidos. Entendemos, que a reunião das interpretações epistemológica, cognitivista e matemática, se assim as pudermos denominar, permite construir uma referência teórica mais aprimorada e fundamentada a respeito das convicções que estão por detrás do Paradigma Pontual e que, por conseqüência, dão sustentação aos procedimentos de medição realizados por muitos alunos.

Conclusão

Este artigo procurou ampliar a discussão sobre as investigações que tratam do processo de medir, prendendo-se especificamente às presumíveis origens do Paradigma Pontual. Como vimos, na literatura poucos trabalhos oferecem uma interpretação para a formação desse paradigma. Com objetivo de dar continuidade ao aprofundamento das interpretações, buscamos propor novos argumentos para complementar as interpretações dos trabalhos.

Com as reflexões colocadas, espera-se contribuir para o aprimoramento conceitual deste assunto. Este é um tema de fundamental importância para os educadores científicos, visto que frequentemente eles precisam se valer de experimentos quantitativos em suas aulas, ou quando se veem numa situação qualquer de ter que confrontar seus alunos com dados numéricos empíricos. Enfim, com a identificação e melhor compreensão dos elementos formativos do Paradigma Pontual, também esperamos estar contribuindo com mais elementos analíticos para aqueles que enfrentam a tarefa de direcionar, de maneira mais segura, a construção do Paradigma de Conjunto, uma meta que, sem dúvida, deveria estar posta aos professores das ciências exatas.

Referências

- Allie, S. et al. (1998). First year physics students' perceptions of the quality of experimental measurements, *International Journal of Science Education*, 20, 4, 447-459.
- Ballin, S. (2002). Critical thinking and science education, *Science & Education*, 11, 361-375.
- Baron, M. E. (1985). *Curso de história da matemática, origens e desenvolvimento do cálculo: a matemática grega*, Unidade 1. Editora da Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- Buffler, A., Allie, S., Lubben, F. Campbell, B. (2001). The development of first year physics student's ideas about measurement in terms of point and set paradigms, *International Journal of Science Education*, 23, 11, 1137-1156.
- Cauzinille-Marmeche, E., Meheut, M., Séré, M. G. & Weil-Barais, A. (1985). The influence of a priori ideas on the experimental approach, *Science Education*, 69, 2, 201-211.
- Coelho, S. M. (1993). *Contribution à l'étude didatique du mesurage en physique dans l'enseignement secondaire: description et analyse de l'activité intellectuelle et pratique des élèves et des enseignants*, These de Doctorat, Université de Paris.

- Germann, P. J. & Aram R. J. (1996). Student performances on the science processes of recording data, analyzing data, drawing conclusions, and providing evidence, *Journal of Research in Science Teaching*, 33, 7, 773-798.
- Helene, O. Tsai, S. P. & Teixeira, R. R. P. (1991). O que é uma medida, *Revista de Ensino de Física*, 13, 12-29.
- Hirvonen, P. E. & Viiri, J. (2002). Physics student teachers' ideas about the objectives of practical works, *Science & Education*, 11, 305-316.
- Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio, *Enseñanza de las Ciencias*, 12, 3, 299-313.
- Journeaux, R. Séré, M. G. (1994). Traitement statistique des incertitudes en physique: problèmes scientifiques et didactiques, *European Journal Physics* 15, 266-292.
- Kanari, Z. & Millar, R. (2004). Reasoning from data: how students collect and interpret data in science investigations, *Journal of Research in Science Teaching*, 41, 7, 748-769.
- Kirschner, P. A. (1992). Epistemology, practical work and academic skills in science education, *Science & Education*, 1, 273-299.
- Kuhn, T. S. (1987). *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo. Editora Perspectiva, p. 257.
- Laburú, C. E. (2003). Problemas Abertos e seus Problemas no Laboratório de Física: uma alternativa dialética que passa pelo discursivo multivocal e univocal, *Investigações em Ensino de Ciências*, 8, 3, 1- 26.
- Laburú, C. E. (2005). Seleção de experimentos de física no ensino médio: uma investigação a partir da fala de professores, *Investigações em Ensino de Ciências*, 2, 2, 1-19.
- Lang da Silveira, F., Dionisio, P. H. & Buchwitez, B. (1983). Inferência sobre a média de uma grandeza a partir de um conjunto de dados: um aspecto relacionado com a sensibilidade das medidas, *Ciência e Cultura*, 35, 10, 1492 -1496.
- Lavonen, J., Jauhiainen, J., Koponen, I. T. & Kurki-Suonio, K. (2004). Effect of a long-term in-service program on teachers' beliefs about the role of experiments in physics education, *International Journal of Science Education*, 26, 3, 309-328.
- Leach, J. (1999). Students' understanding of the co-ordination of theory and evidence in science, *International Journal of Science Education*, 21, 8, 798-806.
- Lubben, F. & Millar, R. (1996). Children's ideas about the reliability of experimental data, *International Journal of Science Education*, 18, 8, 955-968.
- Mäntylä, T. & Koponen, I. T. (2007). Understanding the role of measurements in creating physical quantities: a case study of learning to quantify temperature in physics teacher education, *Science & Education*, 16, 291-311.
- Marineli, F. & Pacca, J. L. A. (2006). Uma interpretação para dificuldades enfrentadas pelos estudantes em um laboratório didático de física, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 28, 4, 497-505.
- Martins, R. de A. (1982). A visão operacional dos conceitos e medidas físicas, *Revista de Ensino de Física*, 4, 57-84.
- Masnack, A. M. & Klahr, D. (2003). Error matters: an initial exploration of elementary school children's understanding of experimental error, *Journal of Cognition and Development*, 4(1), 67-98.
- Millar, R. (1987). Towards a role for experiment in the science teaching laboratory, *Studies in Science Education*, 14, 109-118.
- Millar, R. (1994). What is 'scientific method' and can it be taught? *Teaching Science*. Edited by Ralph Levinson at the Open University. Routledge, London and New York, 164-177.

- Piaget, J. (1987). O possível, o impossível e o necessário. In: Luci Banks Leite (org.) e Ana Augusta de Medeiros (colab.). *Piaget e a escola de genebra*, Cortez Editora, São Paulo, SP.
- Ryder, J. & Leach, J. (2000). Interpreting experimental data: the view of upper secondary school and university science students, *International Journal of Science Education*, 22, 10, 1069-1084.
- Séré, M-G. (2002). Towards renewed research questions from the outcomes of the european project labwork in science education, *Science Education*, 86, 624-644.
- Tiberghien, A., Veillard, L., Le Maréchal, J-F., Buty, C. & Millar, R. (2001). An analysis of labwork tasks used in science teaching at upper secondary school and university levels in several european countries, *Science Education*, 85, 483-508.
- Vuolo, J. H. (1992). *Fundamentos da teoria de erros*. Edgard Blucher Ltda. São Paulo, SP.
- Vuyk, R. (1981). *Overview and critique of Piaget's genetic epistemology 1965-1980*, Volume 1 e 2, Academic Press, London.
- Welzel, M., Haller, K., Bandiera, M., Hammelev, D., Koumaras, P., Niedderer, H., Paulsen, A., Robinault, K. & von Aufschnaiter, S. (1998). Teachers' objectives for labwork. Research tool and cross country results, European Commissions Targeted Social-Economic Research Programme Project *PL 95-2005 Labwork in Science Education*, Working Paper 6, University of Bremen. <http://www.physick.uni-bremen.de/physics.education/niedderer/projects/labwork/index.html>.

Recebido em: 26.05.08

Aceito em: 18.06.09