

Análise de um texto do século XVII, "A grande experiência de equilíbrio dos líquidos", de Pascal: aspectos do método experimental e reflexões didáticas

(Analysis of a XVIII century text, "The great experiment of liquid equilibrium", by Pascal: aspects of the experimental method and didactical reflections)

Suzana Maria Coelho e António Dias Nunes

Instituto de Física, PUCRS, Av. Ipiranga 661, Prédio 10, 90619-900 Porto Alegre, RS

Recebido em 29 de Agosto de 1991; revisão feita pelos autores recebida em 21 de Novembro de 1991.

Aceito para publicação em 26 de Dezembro de 1991

Resumo

O presente artigo focaliza alguns aspectos do *método experimental* utilizado por Pascal, procurando compará-lo ao da ciência experimental moderna, e apresenta algumas reflexões didáticas a respeito. O texto é analisado considerando três fases distintas do método experimental: formulação de hipóteses, desenvolvimento das implicações das hipóteses e confrontação dos resultados experimentais com a teoria. As reflexões didáticas, decorrentes desta análise, referem-se a aspectos como: tipo e objetivo de uma experiência, importância dos trabalhos em grupo, dos processos de discussão e da criatividade numa atividade experimental.

Abstract

This article focusses on some aspects of Pascal's *experimental method*, trying to compare it with the one of the modern experimental science, and presents some pertinent didactical reflections. The text is analysed considering three different phases of the experimental method: hypotheses formulation, development of hypotheses implications, and confrontation of experimental results with theory. The didactical reflections, resulting from this analysis, are concerned with aspects such as: type and objective of an experiment, the importance of group work, of discussion processes, and of creativity in an experimental activity.

I. Introdução

Blaise Pascal nasceu em 1623, num século que é considerado em todos os campos como o século da grandeza para a Europa⁴. Segundo Voltaire, as inúmeras descobertas científicas que ocorreram no século XVII produziram uma verdadeira "revolução no espírito humano"⁹.

Pascal viveu em um momento propício da História, onde a herança do mundo antigo e árabe, o desenvolvimento do mercantilismo e as guerras precipitaram, de uma certa maneira, a revolução científica⁸.

Na Idade Média, o homem tinha profundas preocupações religiosas; o problema mais importante era o da salvação da alma. A realidade era estabelecida por Deus e o homem não devia nem *interpretá-la*, nem *transformá-la*. Esta atitude contemplativa diante da

natureza influenciou negativamente a especulação científica e durante toda esta época a concepção da ciência e sua estrutura geral eram dominadas pela figura de Aristóteles⁸. Para Aristóteles, as coisas tinham qualidades abstratas: se o ópio faz dormir é porque tem uma virtude dormitiva; os corpos têm uma disposição para certos tipos de movimentos; a matéria tem horror ao vácuo.

A descoberta e a publicação de textos de Arquimedes, no século XVI, deviam trazer aos sábios as ferramentas matemáticas necessárias para derrotar o sistema de Aristóteles e fundar a ciência moderna.

Pascal herdou de Arquimedes a prudência. Na realidade, preferia limitar-se à experimentação e à realização de numerosas experiências, precisas e bem interpretadas¹¹.

A grande experiência de equilíbrio dos líquidos, apresentada por Robert Massain no livro *Physique et Physiciens*¹, que será o assunto desta análise, foi realizada por Périer, cunhado de Pascal, no "Puy de Dôme" e consiste na repetição da própria experiência do mercúrio¹ de Torricelli, diferindo desta última por ter sido realizada em várias altitudes.

Pascal, admitindo que o peso do ar não é o mesmo a distintas alturas e que a coluna de mercúrio varia com a pressão, derruba a teoria do "horror da natureza ao vácuo", atribuindo, então, à pressão atmosférica os efeitos observados, ou seja, a variação da altura da coluna do mercúrio com a altitude: *On ne saurait dire que la nature abhorre le vide au pied de la montagne plus que sur son sommet*².

II. Análise do método experimental utilizado por Pascal

Pascal, em seu "Traité", apresenta e ordena de maneira metódica uma grande variedade de experiências embasadas na teoria do equilíbrio dos líquidos, entre as quais podemos citar "La grande expérience de l'équilibre des liqueurs" (A grande experiência do equilíbrio dos líquidos). O mérito de Pascal não está na novidade de suas idéias (pois, sem dúvida, ele se inspirou nos trabalhos de Stevin, Marsenne e Torricelli e, até mesmo, nos conselhos de Descartes, que previu um resultado positivo para a "Grande Experiência de equilíbrio dos líquidos"), mas na maneira clara, precisa e prudente com a qual relata suas pesquisas experimentais³.

O método experimental poderia ser caracterizado por três fases distintas¹: a primeira consistiria na formulação de uma hipótese; a segunda corresponderia ao desenvolvimento das implicações da hipótese no plano dos fatos observáveis; na terceira, a teoria seria considerada consistente quando os fatos dela decorrentes forem confirmados pela observação, ou então declarada inaceitável, em caso contrário.

Vejamos como essas três fases se apresentam na "Grande Experiência de equilíbrio dos líquidos" de Pascal.

A experiência do mercúrio, realizada por Torricelli, em 1647, teve grande repercussão, mas a hipótese da existência da pressão atmosférica e a convicção de que esta era a causa do fenômeno observado não eram admitidas pelos estudiosos.

A afirmação de Aristóteles que o vácuo não existe e que a natureza tem horror ao vácuo persiste até o século

XVII e só será derrubada com evidências experimentais irrefutáveis.

Pascal procura provas convincentes e definitivas para rejeitar a autoridade dos antigos ("custa-me crer que a natureza que não é animada, nem sensível, seja suscetível ao horror, pois as paixões pressupõem uma alma capaz de senti-las; seria ridículo sustentar que a natureza tem menos horror ao vácuo no topo das montanhas do que nas planícies"). Pascal supõe, portanto, que se o peso e a pressão do ar são as causas dos fatos que foram observados por Torricelli, então é necessário que seus efeitos sejam menores no cume das montanhas do que na base.

Todas as conclusões da experiência de Torricelli poderiam ser explicadas tanto pelo peso e pela pressão do ar como pelo "horror da natureza ao vácuo". Para explicar o fato que o mercúrio desce na coluna, permanecendo um "vácuo aparente" no tubo de mercúrio, eram formuladas hipóteses *ad hoc* como a de que na parte superior do tubo havia vapor de mercúrio ou de que o horror ao vácuo era apenas parcial². Pascal procurou, portanto, uma experiência na qual os resultados não poderiam ser atribuídos ao "horror ao vácuo" (nem a qualquer outra hipótese *ad hoc*), mas poderiam ser explicados pelo equilíbrio dos líquidos.

Para chegar à solução da questão suscitada pela experiência de Torricelli, Pascal estabelece as seguintes hipóteses:

- existência do ar atmosférico;
- o peso e a pressão do ar são as causas dos fenômenos observados;
- a natureza não tem horror ao vácuo.

O método experimental do século XX guarda praticamente as mesmas características daquele iniciado no século XVII; a diferença consiste sobretudo na complexidade, tanto do instrumental utilizado como das teorias subjacentes na abordagem dos problemas experimentais⁵. Continua-se a interrogar sistematicamente a natureza e a se fazer intervenções na mesma para testar as hipóteses.

Pascal estabelece suas hipóteses, a partir de outras experiências já realizadas e a partir de uma posição de abertura face ao novo, rejeitando a autoridade dos antigos.

Estas características estão ainda presentes no procedimento experimental atual. Entretanto, devemos notar certas diferenças, como a complexidade do ponto de partida: atualmente, as hipóteses são reagrupadas em teorias complexas, a partir das quais as experiências são realizadas.

A segunda fase do método consistiria na observação das implicações das hipóteses estabelecidas inicialmente: se o ar existe e se ele pesa mais em baixo do que no cume das montanhas, então, a altura da coluna de mercúrio deverá variar com a altitude.

Pascal tinha uma questão precisa a resolver que serviria de guia na operação ativa e intelectualizada da

¹No texto original, o termo utilizado para denominar o mercúrio era "vif-argent".

²Não se poderia dizer que a natureza detesta mais o vácuo ao pé de uma montanha do que em seu cume. (No Brasil, uma tradução completa e comentada das obras de Pascal sobre Física pode ser encontrada na Ref. 6).

observação. A observação pode ser considerada nesta etapa como sendo do tipo *convergente*¹⁰.

A experimentação que se segue consistiria numa intervenção na natureza, tendo sido dada uma atenção prioritária aos efeitos desta intervenção, inicialmente desconhecidos.

Através da experimentação, Pascal (Périer) tenta provocar mudanças, manipular variáveis para testar suas hipóteses.

Esta etapa do método experimental, na experiência realizada por Périer, se caracteriza por uma preocupação de exatidão, de rigor científico e de precisão, que podem ser observadas nas operações de medição (repetição das medidas), no controle das variáveis (variação de cada grandeza capaz de intervir no fenômeno, mantendo as demais constantes) e na busca de reprodutibilidade (participação de várias pessoas na realização do experimento).

A descrição da experiência e as observações mencionadas são dignas de registro pela maneira precisa e minuciosa como são apresentadas.

Diz Périer:

- Eu refiz esta mesma experiência no mesmo lugar, com os mesmos dois tubos, com o mesmo mercúrio e a mesma cuba, duas outras vezes..."

- É por isso que eu refiz a experiência mais cinco vezes com bastante precisão em diferentes locais no cume da montanha, ora dentro de uma pequena capela, ora ao ar livre, ora ao abrigo do vento, ora ao vento, ora com tempo bom, ora com chuva e nevoeiro..."

- Depois, descendo a montanha, (...) bem abaixo do pico (...) Eu a refiz uma segunda vez no mesmo lugar, e Mosnier, (...) teve a curiosidade de fazer sozinho..."

Há nesta etapa do procedimento experimental uma tentativa de estabelecer relações entre variáveis, a partir das medidas efetuadas: a altura da coluna de mercúrio e a altitude - "a altura da coluna de mercúrio diminuía de acordo com a altitude dos lugares".

Périer discute os resultados, referindo-se às prováveis causas de erros das medidas efetuadas e sugerindo modificações que poderiam ser introduzidas para melhorar os resultados experimentais, o que nos leva a pensar em artigos hodiernamente redigidos.

- ... tenho a vos dizer que as alturas do mercúrio foram obtidas com grande exatidão, mas as (altitudes) dos locais onde as experiências foram realizadas são bem menos precisas.

- Se tivesse mais tempo e mais facilidades, tê-las-ia medido com mais precisão e teria marcado lugares na montanha de cem em cem "toises"³, nos quais teria realizado a experiência (...) o que poderia servir para construir uma tabela..."

³Referencial de medida de comprimento valendo seis pés (aproximadamente dois metros).

Podemos assinalar, ainda nesta etapa, diferenças em relação à complexidade das operações de medida que caracteriza a experimentação atual: hoje em dia, os instrumentos de medida representam o resultado de um conhecimento teórico acumulado, o que significa dizer que as operações de medição em si mesmas exigem o domínio de um conjunto complexo de conhecimentos.

Poder-se-ia também estabelecer diferenças em relação ao tratamento de dados, pois atualmente esse tratamento seria realizado considerando a incerteza da medida a partir de cálculos estatísticos.

Finalmente, ao mostrar que a altura da coluna de mercúrio diminui com a altitude, Pascal faz valer suas hipóteses: confronta os resultados previstos pelas hipóteses aos efeitos observados. No entanto, esta última etapa do método experimental fica incompleta. Pascal sugere que ele se servirá desta experiência para validar seus raciocínios a respeito do equilíbrio dos líquidos. Mas não é possível verificar este comportamento, levando em conta somente o relato de Périer. Hoje em dia esta confrontação entre os resultados experimentais e os resultados previstos por teorias mais gerais é normalmente feita, o que implica a utilização de um sistema de símbolos abstratos complicados, normalmente incompreensíveis para o grande público. Aqui, neste extrato, as hipóteses adotadas por Pascal foram bem mais simples e não implicam nenhuma teoria de base que as sustente.

Para concluir esta análise, poder-se-ia notar a evolução da pesquisa experimental que passou de um estágio artesanal e individual, representado pelo trabalho isolado do cientista do século XVII, a um estágio de trabalho coletivo mais complexo, implicando inúmeras relações entre os diferentes setores da sociedade do século XX³.

No século XVII estávamos na época do cientista isolado, as universidades não constituíam o centro da vida intelectual, uma vez que mantinha-se nas mesmas um respeito servil a Aristóteles; a ciência era obra de burgueses instruídos que tentavam formular questões e resolvê-las, criando grupos nas grandes cidades com os quais trocavam informações através de cartas amigáveis⁹.

- ... e entre outros ao Reverendo Padre Marsenne, que se comprometeu através de cartas que escreveu à Itália, à Polônia, à Suécia, à Holanda, etc, a dar conhecimento aos amigos..."

Pode-se depreender dos textos abaixo um certo interesse do pesquisador pela solução de problemas de ordem prática, pela aplicação imediata de suas descobertas.

"Eu não perco as esperanças de vos enviar um dia destes as diferenças de cem em cem "toises", tanto para a nossa satisfação, como para a utilidade pública".

" Desta experiência tiram-se algumas conclusões, como: a forma de saber se dois lo-



Figura 1: Pèrier realiza a experiência de Torricelli no “Puy de Dôme” (Segundo Figuer).

cais estão no mesmo nível, isto é, igualmente equidistantes do centro da terra, ou qual dos dois é mais elevado...”

“A desigualdade da pressão do ar, que no mesmo grau de calor [na mesma temperatura], se encontra mais pressionado nos locais mais baixos”.

“Todas essas conseqüências serão deduzidas no Tratado sobre o vácuo, e muitas outras tão verdadeiras quanto curiosas”.

Parece-nos que a ciência experimental no século XVII conserva certas características da pesquisa aplicada, uma vez que várias invenções, ligadas a problemas de ordem prática, sucederam a descobertas de certos princípios da Física e marcaram de forma acentuada este período (invenção dos instrumentos de óptica, da prensa hidráulica, do barômetro, da máquina pneumática, etc...).

III. Algumas reflexões didáticas

Pascal escreveu uma carta a seu cunhado Pèrier, solicitando que este realizasse a “Grande experiência de equilíbrio dos líquidos”, dando justificativas para tal pedido (confirmar a hipótese que a natureza não tem horror ao vácuo,...) e Pèrier, após a realização da experiência, também lhe escreveu, relatando o método utilizado, os resultados obtidos e fazendo algumas considerações de ordem prática.

Para os professores de física básica, principalmente para os que trabalham em aulas de laboratório, serão feitas a seguir algumas reflexões de ordem didático-pedagógicas, tiradas destas duas cartas e dos comentários de Pascal.

1. *Experiências simples*, sem grande sofisticação de equipamentos, podem trazer resultados importantes. Nem sempre as experiências muito complexas, às vezes misteriosas para os alunos, são as mais adequadas a serem em evidência os fenômenos físicos básicos subjacentes e, portanto, sua compreensão. As chamadas “experiências clássicas” deveriam ser realizadas, tanto quanto possível, da mesma forma que foram realizadas pelos seus autores, para que seja bem evidenciada a teoria física que eles queriam corroborar. Ferramentas como computadores, que agilizam as operações e permitem tirar inferências que de outra forma seriam demoradas e muito trabalhosas, devem ser usadas após a perfeita compreensão da fundamentação teórica da experiência.

2. O *objetivo* de uma experiência deve ser perfeitamente compreendido pelos alunos, antes de sua realização. Fazer medidas, tabelas, gráficos, cálculos, etc, de maneira mecânica, sem apreender a finalidade de tais tarefas, resulta em um trabalho cansativo e sem motivação.

Pascal refere-se inicialmente à teoria do horror ao vácuo, de modo que Pèrier entenda com clareza as razões das tarefas a serem por ele executadas.

3. O trabalho em grupo em experiências de laboratório não deve ser entendido como uma forma de se diminuir a quantidade de aparelhos e baixar os custos, mas principalmente para que os erros individuais possam ser evitados ou corrigidos e os resultados obtidos possam ser discutidos e tornados fidedignos.

Périer não realizou sozinho as medidas, mas foi ajudado por pessoas "muito capazes".

4. A criatividade deve ser estimulada pelos professores, mesmo em experiências dirigidas, nas quais todas as tarefas são previamente orientadas; deve-se deixar aos alunos a oportunidade de realizarem tarefas e metodologias não previstas. Horários à disposição dos alunos, fora do tempo normal das aulas, devem ser previstos para que a criatividade possa motivá-los a descobrir novas facetas da experiência.

Périer, por conta própria, mediu a pressão atmosférica em vários locais, a várias alturas, com ou sem vento, etc...

5. As conclusões devem aparecer somente após um bom número de repetições e os resultados amadurecidos e discutidos, evitando-se conclusões precipitadas.

Pascal chegou à conclusão de que a variação da coluna de mercúrio era devida à variação da pressão atmosférica - ao peso do ar - após um longo procedimento experimental.

6. As aplicações práticas, que toda experiência básica possa ter, devem ser mostradas (mencionadas) aos alunos, ou estes investigá-las, para que a experiência tenha sentido. Experiências que não levam a lugar nenhum, sem aplicabilidade, não motivam os alunos a realizá-las.

Pascal, após descobrir como se podia conhecer o valor da pressão atmosférica, chegou a várias conclusões práticas. Uma delas: se dois lugares estivessem equidistantes do centro da terra, eles deveriam ter a mesma pressão atmosférica.

Bibliografia

1. Bartholy, M. C., *Philosophie, Epistémologie, Précis de vocabulaire*, Paris: Ed. Magnard, 1975.
2. Bartholy, M. C., Despin, J. P., Grandpierre, G., *La Science Epistémologique générale*, Paris: Ed. Magnard, 1976.
3. Koyré, A., *Etudes de l'Histoire de la pensée scientifique* (2ème ed.). Paris: Gallimard, 1973, 412p.
4. Lagarde, A., Michard, L., *XVII ème Siècle. Les grands auteurs français du Programme*, Paris: Bordas, 1966.
5. Martinand, J.-L., Notas do Curso "Eléments de Didactique en Sciences Expérimentales - Concepts fondamentaux", Paris 7, 1986.
6. Martins, R.A., *Tratados Físicos de Blaise Pascal*. Cad. Hist. Fil. Ci., Série 2, 1 (nº esp), 1-168, 1989.
7. Massain, R., *Physique et Physiciens* (5ème ed.), Paris: Editions Magnard.
8. Medeiros, A. J. G., *Condicionantes históricos e sociais no surgimento da Física*. Dissertação de Mestrado. São Paulo, Universidade de São Paulo, 1984.
9. Quillet, *Histoire Universelle, le monde au XVII et XVIII siècles. Les pays et les peuples des origines à nos jours*, Paris: Librairie Aristide Quillet, 1913, 3.
10. Russo, F., *Nature et méthode de l'Histoire des Sciences*. Paris: Albert Blanchard, 1983.
11. Sergescou, P., *Esprit & Méthode. Coup d'oeil sur les origines de la Science exacte moderne*, Paris, Sedes, 1951.