SAITO, Fumikazu. A conciliação de procedimento e resultado: alguns aspectos da hidrostática de Pascal. *In*: MARTINS, R. A.; MARTINS, L. A. C. P.; SILVA, C. C.; FERREIRA, J. M. H. (eds.). *Filosofia e história da ciência no Cone Sul: 3º Encontro*. Campinas: AFHIC, 2004. Pp. 188-196. (ISBN 85-904198-1-9)

A CONCILIAÇÃO DE PROCEDIMENTO E RESULTADO: ALGUNS ASPECTOS DA HIDROSTÁTICA DE PASCAL

Fumikazu Saito*

Resumo – Este trabalho aborda alguns aspectos relacionados à idéia de experiência nos tratados físicos de Blaise Pascal (1623-1662), especialmente no que se refere à sua síntese hidrostática. Uma primeira aproximação mais detalhada sobre a maneira como Pascal descreveu suas experiências sugere que elas foram formuladas estabelecendo uma estreita relação entre procedimentos dedutivos e experimentais. Em comum com a longa e estabelecida tradição das matemáticas-mistas, essas experiências foram incorporadas por Pascal numa estrutura argumentativa formal. Estrategicamente focada para tornar suas demonstrações efetivas, a formulação de suas experiências sugere que Pascal conciliou procedimento e resultado de tal modo que ambos fossem formalmente inseparáveis.

INTRODUÇÃO

As investigações relativas aos fenômenos barométricos foram concluídas por Blaise Pascal (1623-1662) com a composição dos *Traitez de l'eqvilibre des liqvevrs et de la pesantevr de la masse de l'air*. Publicados postumamente por seu cunhado Florin Périer, em 1663, esses dois tratados estabeleceram a correspondência analógica entre os efeitos da pressão nos líquidos e no ar de maneira a unificar a hidrostática e a aerostática como uma disciplina coerentemente organizada. Concisos e metodicamente organizados, esses dois tratados consistem basicamente de uma série de experiências que procuravam ilustrar experimentalmente cada proposição hidrostática, de tal sorte que todas elas estivessem encadeadas segundo uma ordem lógica e harmoniosa.[1]

---

* Centro Simão Mathias de Estudos em História da Ciência; Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP), São Paulo, SP, Brasil. E-mail: fsaito@uol.com.br

[1] Os *Traitez de l'eqvilibre des liqvevrs et de la pesantevr de la masse de l'air* foram publicados em 1663 por Florin Périer, mas sua composição data, provavelmente, entre os anos de 1651 e 1654; vide nota introdutória de L. Brunschvicg em PASCAL, 1904-1914, vol. 3, p. 148.

Divididos em duas partes, sendo a primeira totalmente dedicada ao equilíbrio dos líquidos e, a segunda, à pressão atmosférica, os *Traitez de l'eqvilibre des liqvevrs et de la pesantevr de la masse de l'air* apresentam uma estrutura que sugere uma estreita relação entre procedimentos dedutivos e experimentais. Do princípio geral de que "os líquidos pesam de acordo com suas alturas", Pascal extrai por um raciocínio rigoroso, uma série de conseqüências para os líquidos em geral, estabelecendo, assim, a completa correlação mecânica entre os fenômenos atmosféricos e os fenômenos atinentes ao equilíbrio dos líquidos.

Cabe observar, entretanto, que a novidade trazida pela hidrostática de Pascal não pretendia valer-se porque as proposições ali enunciadas eram genuínas, mas sim porque a disposição das matérias era nova. De fato, nada do que disse Pascal nesses dois tratados era novo. Neles não se encontra nada além do que já tinha sido investigado e discutido por Simon Stevin, Giovanni-Battista Benedetti, Galileu Galilei, Marin Mersenne, entre outros.[2]

Desse modo, o conjunto de experiências apresentado nesses tratados não parece ter por objetivo desvelar um determinado aspecto da natureza, mas sim organizar as proposições da Hidrostática que estavam dispersas e que procediam de maneira confusa e sem relação.[3] Assim, o rol de experiências propostas sugere, por um lado, que o autor obedeceu a critérios rigorosos de organização e, por outro, que ele tinha em vista extrair, da comparação dos efeitos observados um princípio geral que fornecesse uma compreensão mais refinada dos fenômenos hidrostáticos.

A FORMULAÇÃO DA EXPERIÊNCIA

Um dos indícios para assim crer repousa no modo como Pascal descreveu suas experiências. Sem perder de vista a realidade concreta dos efeitos observados, a série de experiências, descrita nesses dois tratados, não parece ter por objetivo testar as proposições da Hidrostática. Muito pelo contrário, a sua disposição e descrição parece ter o propósito bem definido de ilustrar uma série de efeitos. É o que podemos apreciar, por exemplo, na experiência que ilustra a proposição de que "os líquidos pesam de acordo com suas alturas" (figura 1):

> Se prendermos contra uma parede vários recipientes, um como o da primeira figura; o outro dobrado como na segunda; o outro bastante grande como na terceira, o outro estreito como na quarta, o outro que não seja senão um pequeno tubo que chega a um recipiente largo embaixo mas, que não tenha quase altura como na quinta figura; se eles fossem todos preenchidos com água até uma mesma altura e caso façamos, em todos, aberturas embaixo que sejam arrolhadas para reter a água: a experiência mostra que é necessária uma força semelhante para impedir todos esses tampões de sair, embora a água esteja em quantidades bastante diferentes em todos esses recipientes, porque ela tem uma mesma altura em todos; e a medida dessa força é o peso da água contida no primeiro recipiente, que é uniforme em todo o seu corpo; pois, se essa água pesa 100

---

[2] A esse respeito, vide DUHEM, 1905, p. 610; veja também notas de Brunschvicg a esse respeito em PASCAL, 1904-1914, vol. 3, pp. 154-5.

[3] Nesse particular, convém observar que o propósito de Pascal na síntese hidrostática parecer ser diferente daquele apresentado em seus dois opúsculos anteriores, *Expériences nouvelles touchant le vide* (1647) e *Récit de la grande expérience de l'équilibre des liqueurs* (1648). Os *Traitez de l'eqvilibre des liqvevrs et de la pesantevr de la masse de l'air* parecem corresponder ao período de síntese e demonstração, ao passo que os dois primeiros opúsculos, ao período de análise e exploração. Desse modo, nos *Traitez de l'eqvilibre des liqvevrs et de la pesantevr de la masse de l'air*, Pascal parece atribuir às experiências um papel diferenciado, pois elas tendem à generalização, contemplando a universalidade. Preocupado em explicar os vários efeitos por um princípio geral, Pascal parece deslocar o seu discurso para os mecanismos que estão por trás dos fenômenos. Sobre a idéia de experiência em Pascal, vide SAITO, 2002, pp. 73-92.

libras, será necessária uma força de 100 libras para reter cada um dos tampões e mesmo para aquele do quinto vaso, ainda que a água que ali está não pese mais do que uma onça. (PASCAL, 1663, pp. 1-2)

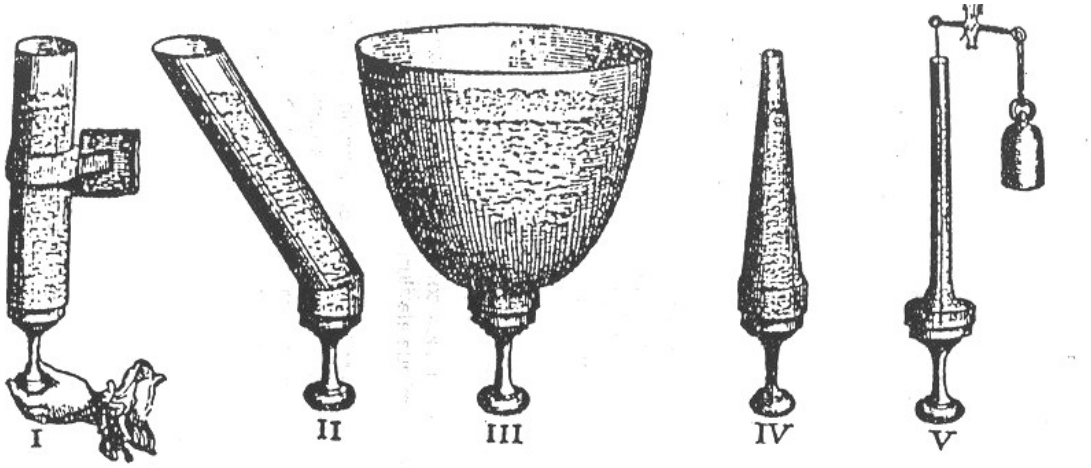

Figura 1. As cinco figuras que ilustram a proposição "os líquidos pesam de acordo com suas alturas" (PASCAL, 1663)

A respeito dessa descrição, queremos observar que ela era uma instância que fornecia uma evidência extraída da experiência. Ao apresentar a proposição de que "os líquidos pesam de acordo com suas alturas", Pascal estava fornecendo ao leitor um fenômeno constado e constatável experimentalmente. Considerada evidente, essa proposição encontrava na experiência sua prova empírica ao mesmo tempo em que a própria experiência era já uma premissa experiencial e, portanto, de caráter universal. Mas, em seguida, Pascal nos diz (figura 2):

> Para testá-la exatamente, é necessário arrolhar a abertura do quinto recipiente com um pedaço de madeira redonda, envolvida em tecido como o pistão de uma bomba, que entra e corre nessa abertura de modo tão justo que não a prende e que, no entanto, impede a água de sair; e prender um fio ao meio desse pistão que passa por dentro desse pequeno tubo, para prender a um braço de balança e prender no outro braço um peso de 100 libras: ver-se-á um equilíbrio perfeito desse peso de 100 libras com a água do pequeno tubo que pesa 1 onça; e por pouco que se diminuam essas 100 libras, o peso da água fará baixar o pistão; e conseqüentemente fará baixar o braço da balança onde está preso e elevar aquele de onde pende o peso de pouco menos de 100 libras. (PASCAL, 1663, pp. 2-3)[4]

[4] Cabe observar o tempo verbal em que é narrada essa experiência. Ao contrário das experiências descritas em *Expériences nouvelles touchant le vide*, que são narradas no tempo presente; e da experiência do Puy-de-Dôme, descrita no *Récit de la grande expérience de l'équilibre des liqueurs*, que é narrada no tempo passado, as experiências na síntese hidrostática são todas narradas no tempo futuro. Tal aspecto faz supor que as experiências, apresentadas nos *Traitez de l'eqvilibre des liqvevrs et de la pesantevr de la masse de l'air*, tinham propósitos distintos daqueles descritos por Pascal em seus dois primeiros opúsculos; vide *supra* nota 3.

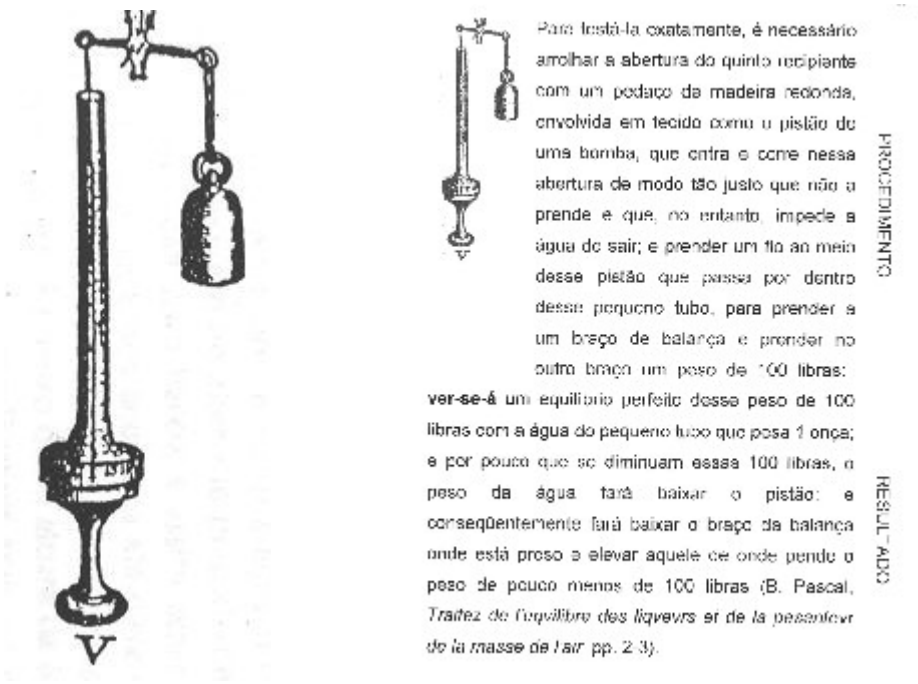

Figura 2. A formulação da experiência: a conciliação de procedimento e resultado.
(*Traitez de l'eqvilibre ds liqvevrs et de la pensantevr de la masse de l'air*)

Descrita de maneira a evidenciar quantitativamente o efeito constatado na experiência precedente, essa segunda experiência, que procurava "testar" a constatação empírica anterior, conciliava procedimento e resultado de modo que ambos fossem formalmente inseparáveis.

De fato, Pascal parece instruir inicialmente o leitor sobre como montar o cenário experimental e conduzir a experiência, informando-lhe, em seguida, sobre o que resultaria. As outras experiências apresentadas por Pascal, ao longo desses tratados, parecem manter o mesmo tipo de padrão. Porém, queremos observar que essa maneira de proceder não era arbitrária. Ao apresentar detalhes de procedimento como se fossem conjunto de instruções, ou condições, Pascal fazia com que o próprio resultado de uma situação empírica se tornasse evidente, possibilitando-o a integrar suas experiências numa estrutura argumentativa formal.

Tal procedimento, entretanto, refletia as convicções metodológicas de Pascal que encontrava na geometria o modelo ideal de demonstração. Considerada a mais nobre das ciências, a geometria era a única ciência que fornecia regras infalíveis que seguiam o verdadeiro método:

> Este método verdadeiro, que formaria as demonstrações na mais alta excelência, se fosse possível lá chegar, consistiria em duas coisas principais: uma, não empregar nenhum termo, cujo sentido não tenha sido anteriormente explicado com clareza; a outra, nunca apresentar uma proposição que não se demonstre por verdades já

> conhecidas; isto é, em suma: definir todos os termos e provar todas as proposições. (PASCAL, 2000, p. 17)[5]

Para Pascal, a reputação da geometria repousava não só na clareza de seus passos dedutivos como, também, na percebida auto-evidência de seus princípios fundamentais. Assim, ele acreditava que o proceder dos geômetras poderia de alguma forma ser adaptado à Física. E, para tanto, procurou adotar uma estratégia particular para esse propósito. Ao transpor o modelo geométrico de demonstração, Pascal adequou, do ponto de vista prático, as suas experiências à certeza e à necessidade ligada aos princípios.[6]

Estrategicamente focado para tornar efetiva as suas demonstrações, esse procedimento possibilitava a Pascal tomar suas experiências como premissas, fazendo-as operar como proposições empíricas evidentes e manifestamente universais. De fato, considerando-se as duas experiências supracitadas, veremos que elas apenas descrevem, tal como observa Peter Dear, uma situação, colocando a ênfase sobre "o que acontece na natureza quando determinadas condições são satisfeitas".[7]

Podemos dizer que Pascal apresentava suas experiências como fontes de evidências. E, para tanto, recorria a um artifício que procurava transpor o sentido de "isto é o que eu vi quando fiz isto" para "isto é o que acontece quando isto é feito" (DEAR, 1990, p. 675). Esse movimento era efetivamente realizado por Pascal ao conciliar procedimento e resultado, apresentando suas experiências como se fossem premissas empíricas evidentes. Nesse sentido, pelo menos no que se refere à sua forma de apresentação, essas experiências não eram "experimentos" específicos ou um "conjunto de experimentos" realizados num tempo, lugar e circunstâncias específicas. Pelo contrário, elas foram apresentadas como instâncias experienciais, sugerindo, por sua vez, que a pedra de toque da definição de experiência de Pascal era de índole aristotélica.[8]

Todavia, convém observar que, embora a formulação das experiências de Pascal guarde estreitas relações com a forma reconhecidamente tradicional, isso não significa que elas se restringiam ao papel de mera instância seletiva, que procurava ilustrar uma determinada teoria comumente aceita. Isso porque na concepção de experiência de Pascal está presente a idéia de ação de averiguação das verdades alcançáveis pelo homem.

Concebida como ponto de partida para qualquer investigação relativa ao mundo natural, a experiência estava na base do conhecimento e tinha o propósito de desvelar um determinado aspecto da natureza. Pois, segundo Pascal:

> Os segredos da natureza são ocultos; embora ela sempre atue, seus efeitos não são sempre descobertos: o tempo os revela de era em era e, embora seja sempre a mesma, não nos é igualmente conhecida. As experiências que no-los ensinam multiplicam-se continuamente; e como elas são o único princípio da Física, as conseqüências se multiplicam proporcionalmente [...].[9]

---

[5] Vide também *Da arte de persuadir*, *in* PASCAL, 2000, p. 45.

[6] A respeito do enfoque matemático da prática experimental de Pascal, vide DEAR, 1990, pp. 681-3; Dear observa que a Hidrostática de Pascal enquadra-se no gênero das matemáticas-mistas; nesse particular, vide DEAR, 1995, pp. 203-5; sobre a relação entre experiência e princípios empíricos de caráter matemático, vide *ibid.*, pp. 32-62.

[7] A esse respeito, vide DEAR, 1990, p. 667.

[8] Isso nos faz remeter a distinção entre experiência e experimento; a esse respeito, vide SHAPIN, 1996, pp. 81-4 e DEAR, 1995, pp. 11-25. Acerca da afirmação de que as experiências de Pascal eram instâncias experienciais, vide DEAR, "Narratives, Anecdotes, and Experiments: Turning Experience into Science in the Seventeenth Century", *in* DEAR, 1991, pp. 135-63.

[9] PASCAL, "Préface sur le traité du vide", *in* PASCAL, 1904-1914, Vol. 2, p. 136.

Desse modo, cabiam à experiência dois papéis fundamentais: primeiro, a de prover evidências acerca de um fenômeno que antes não tinha sido constatado, fornecendo o incentivo para a formulação de hipóteses. E, segundo, a de "testar" a hipótese decorrente da constatação empírica anterior confrontando-a com outras experiências.

Mas, além de admitir que a experiência fornecia elementos que serviam de base para produzir novos conhecimentos, Pascal também parece ter reconhecido nela o seu caráter prático de aferição. Contudo, cabe observar que a experiência não valia, para Pascal, apenas para decidir qual das diversas hipóteses possíveis era a verdadeira. Assim, além de ser ponto de partida, a experiência era também a norma das explicações racionais.

Tal aspecto, entretanto, viria a reforçar que, no que se referia aos fenômenos da natureza, uma atenção especial deveria ser dada aos efeitos que confirmavam ou infirmavam uma determinada hipótese. Assim, aplicado à demonstração experimental, não bastava apenas confirmar pela experiência aquilo que derivava de uma hipótese, era necessário também verificar se dessas conseqüências deduzidas seguia-se um efeito contrário à hipótese colocada.[10]

Mas, além desses dois usos da experiência, Pascal parece lhe reservar, na ordem prática da investigação, um terceiro. Além de ser um recurso útil para aquisição de novos conhecimentos relativos ao mundo natural, a experiência foi também utilizada por Pascal como uma instância, que servia de argumento, que possibilitava a prover demonstrações. Como já destacamos, tal aspecto pode ser visto na própria formulação de suas experiências: ao conciliar procedimento e resultado, Pascal fazia ressaltar os vários efeitos que podiam ser comparados entre si. Desse modo, manipulando instrumentos simples, tais como o fole, a seringa, o sifão etc., que eram empregados a cada momento em condições diferentes e com algumas variações engenhosas, Pascal produzia e encadeava uma série efeitos que poderiam ser medidos, pesados e comparados entre si.

A RAZÃO DOS EFEITOS

Podemos dizer que Pascal reservava à produção dos efeitos um lugar privilegiado em seu empreendimento, pois uma das principais características de sua hidrostática repousava, sobretudo, na variação sistemática de suas experiências. Mas, ao proceder dessa maneira, Pascal tinha em vista uma finalidade última. Por tais variações, mais especificamente das proporções dos efeitos, Pascal procurava extrair uma unidade escondida por trás da realidade concreta.

De fato, a experiência, que sucede as duas que acima mencionamos, procurou apresentar a relação entre a força que impedia os líquidos de correr de uma abertura e a sua altura (figura 3):

> Figura VI – É necessário dispor de um recipiente fechado em todos os lados e nele fazer duas aberturas em cima, uma muito estreita, a outra mais larga, e soldar tanto em uma quanto na outra tubos cada um da grossura de sua abertura; ver-se-á que se for colocado um pistão no tubo largo e se for vertida água no tubo menor, será necessário colocar sobre o pistão um grande peso, para impedir que o peso da água do pequeno tubo não o empurre para cima (...) E mesmo se o tubo cheio d'água for cem vezes mais largo ou cem vezes mais estreito, desde que a água nele sempre esteja à mesma altura; será

[10] Podemos dizer que o raciocínio empregado por Pascal assumia como hipótese a proposição contrária à condição que se queria demonstrar e fazia ver que de tal hipótese derivava uma proposição contraditória à própria hipótese. Conhecida como prova apagógica, a demonstração se dá por redução ao absurdo e se contrapõe à demonstração ostensiva. No que se refere à natureza lógica da argumentação, podemos dizer que Pascal utiliza o esquema *modus tollens*; vide DESCOTES, 1993, p. 305.

sempre necessário um mesmo peso para contrabalançar a água; e por pouco que se diminua o peso, a água baixará e fará subir o peso diminuído. (PASCAL, 1663, pp. 4-5)

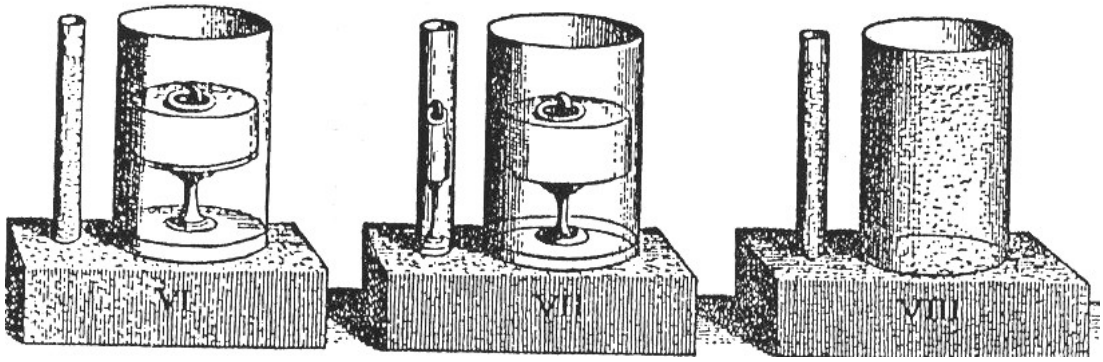

Figura 3. As figuras que representam as três experiências que demonstram a "razão dos efeitos".
(*Traitez de l'eqvilibre des liqvevrs et de la pesantevr de la masse de l'air*)

Essa experiência, que procura mostrar que a pressão não se exercia somente de cima para baixo, mas também lateralmente, foi formulada nos mesmos padrões que as duas anteriores. O relato inicia-se com uma descrição da organização da experiência, fornecendo algumas instruções que devem ser seguidas para que o efeito, que é descrito a seguir, se verifique. A prensa hidráulica viria, assim, a estabelecer a seguinte regra, que foi enunciada por Pascal nos seguintes termos:

> Mas se derramarmos água no tubo a uma altura duas vezes maior, será necessário um peso duas vezes maior sobre o pistão para contrabalançar a água; e da mesma forma, se fizermos a abertura onde está o pistão duas vezes maior do que aquela que lá está, será necessário dobrar a força necessária para sustentar o pistão duplo: de onde se vê que a força necessária para impedir a água de correr por uma abertura é proporcional à altura da água e não à sua largura; e que a medida dessa força é sempre o peso de toda água que estaria contida em uma coluna da altura da água e da grossura da abertura. (PASCAL, 1663, p. 5)

A prensa hidráulica mostrava que os líquidos exerciam sobre o fundo dos vasos uma força proporcional a sua altura e independente de seu volume de tal modo que uma pequena coluna de água era capaz de manter um grande peso em equilíbrio (vide supra, fig. 3). Porém, os efeitos observados mostravam que tal equilíbrio revelava-se numa certa proporção. A multiplicação de forças na prensa hidráulica viria, assim, a evidenciar a "razão" na qual se davam os vários efeitos, conforme a seguinte experiência (figura 3):

> Figura VII – Se um recipiente cheio de água, fechado em todos os lados, tem duas aberturas, das quais uma é cem vezes maior do que a outra: colocando em cada uma um pistão que lhe seja bem ajustado, um homem empurrando o pequeno pistão igualará a força de cem homens que empurrem aquele que é cem vezes maior e será capaz de vencer a de noventa e nove (...) Pois é visível que, como uma dessas aberturas é cem vezes maior que a outra, se o homem que empurra o pequeno pistão o fizer descer uma

> polegada, ele não fará o outro subir senão uma centésima parte apenas. (PASCAL, 1663, p. 6)

Em outros termos, ainda nas palavras de Pascal, "o caminho aumenta na mesma proporção que a força", de modo que o "caminho está para o caminho como a força para a força". Ao associar o princípio da prensa hidráulica aos mecanismos da alavanca, Pascal generaliza o resultado, assinalando a "razão dos efeitos" que lhe revela a transmissão da pressão de um líquido em repouso. Nas próprias palavras de Pascal:

> Pode-se ainda acrescentar, para maior esclarecimento, que a água está igualmente pressionada sob esses dois pistões; pois se um possui cem vezes mais peso do que o outro, ele em troca também toca cem vezes mais partes; e assim cada uma é pressionada igualmente; portanto, todas devem estar em repouso, pois não existe nenhuma razão pela qual uma deva ceder mais do que a outra. (PASCAL, 1663, p. 8)

Considerada um operador de discernimento eficaz, a "razão dos efeitos" possibilitava, assim, a compreensão mais refinada dos fenômenos hidrostáticos. Dela Pascal passaria a extrair as diversas conseqüências experimentais como, por exemplo, o caso dos vasos comunicantes:

> Se colocarmos líquidos diferentes nos tubos como, por exemplo, água em um e mercúrio no outro, esses dois líquidos estarão em equilíbrio quando suas alturas forem proporcionais a seus pesos; quer dizer, quando a altura da água for quatorze vezes maior do que a altura do mercúrio, pois o mercúrio pesa por si mesmo quatorze vezes mais do que a água; pois esses serão dois pistões, um de água e o outro de mercúrio, cujos pesos serão proporcionais às aberturas. (PASCAL, 1663, pp. 15-16)

A esse respeito, entretanto, queremos observar que a "razão dos efeitos" não se confundia com a causa. Para Pascal, a causa era visível, mas a "razão" era de uma outra ordem, ou seja, era racional. Entendida no sentido matemático do termo, a "razão dos efeitos" era uma proporção que descrevia o princípio de ação da causa.[11] Podemos dizer que a causa visível dos efeitos repousava nos pesos específicos dos fluidos que imprimiam uma pressão às suas partes devido à continuidade e fluidez dos líquidos. Porém, a "razão dos efeitos" era uma relação "dada" dos efeitos sob a qual se vinculava o maior número possível de experiências. O que significa que os efeitos constatados e constatáveis na experiência tinham uma causa física, cujo princípio explicativo era matemático.

CONCLUSÃO

Concluindo essa exposição, podemos dizer que, pelo menos no que diz respeito à síntese hidrostática, Pascal não empregou deliberadamente a experiência para testar proposições. O seu papel, entretanto, não se restringia meramente a ilustrar uma visão geral de como a natureza se comportava no seu curso natural. Embora elas guardassem estreita relação com as instâncias seletivas formuladas de forma tradicional, elas foram utilizadas como argumentos para justificar um pretenso conhecimento de caráter universal. E, para tanto, foram formuladas como premissas empíricas experienciais, adequadas para prover demonstrações.

---

[11] A esse respeito, vide DESCOTES, 1993, pp. 299-301.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DEAR, P. *Discipline & experience: The mathematical way in the scientific revolution*. Chicago: University of Chicago Press, 1995.

———. Miracle, experiments, and the ordinary course of nature. *Isis* **81**: 663-83, 1990.

——— (org.). *The literary structure of scientific argument: historical studies*. Philadelphia: University of Pennsylvania Press, 1991.

DESCOTES, D. *L'argumentation chez Pascal*. Paris: Presses Universitaires de France, 1993.

DUHEM, P. Le principe de Pascal. *Revue Genérale des Sciences Pures et Appliquées* **16**: 599-610, 1905.

PASCAL, B. *O espírito da geometria – da arte de persuadir*. Org. e comentários de B. Clerté e M. Lhoste-Navarre. Lisboa: Didática, 2000.

———. *Oeuvres de Blaise Pascal*. Org. de L. Brunschvicg, P. Boutroux e F. Gazier. Paris: Hachette, 1904-1914. 14 vols.

———. *Traitez de l'eqvilibre des liqvevrs et de la pesantevr de la masse de l'air*. Paris: Deprez, 1663[12].

SAITO, F. *Alguns aspectos do empreendimento experimental de Blaise Pascal (1623-1662)*. Dissertação de mestrado. São Paulo: Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2002.

SHAPIN, S. *The scientific revolution*. Chicago: University of Chicago Press, 1996.

[12] http://gallica.bnf.fr