

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO
PUC-SP

Eliade Amanda Alves

**BENJAMIN THOMPSON (CONDE RUMFORD) E O
EXPERIMENTO DA RADIAÇÃO DO FRIO**

MESTRADO EM HISTÓRIA DA CIÊNCIA

SÃO PAULO

2013

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO
PUC-SP

Eliade Amanda Alves

**BENJAMIN THOMPSON (CONDE RUMFORD) E O
EXPERIMENTO DA RADIAÇÃO DO FRIO**

MESTRADO EM HISTÓRIA DA CIÊNCIA

Dissertação apresentada à Banca Examinadora da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, como exigência parcial para obtenção do título de Mestre em História da Ciência sob a orientação do Professor Doutor Fumikazu Saito.

SÃO PAULO

2013

Banca Examinadora

Autorizo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação por processos fotocopiadores ou eletrônicos.

Ass.: _____

Local e data: _____

Eliade Amanda Alves

fis.amanda@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida que tornou possível a realização deste trabalho.

Agradeço ao meu orientador, Fumikazu Saito, por todas as horas de dedicação e cobranças, contribuindo também para minha formação enquanto professora, já que se tornou para mim um grande exemplo na vida docente.

Agradeço aos meus pais, João Aratônio Alves e Maria Luiza Alves, por todo apoio que sempre me deram.

Agradeço à professora Silvia Waisse e a todos os demais professores do programa de História da Ciência da PUC-SP.

Agradeço ao meu irmão Eliakim, meu melhor amigo.

Agradeço ao meu amigo Geraldo José de Almeida Junior, por toda inspiração.

Agradeço à minha amiga Joice, por viver comigo todas as alegrias e dificuldades de um mestrado.

Agradeço minha amiga Silvia Franco, que mesmo longe sempre orou pela minha vida.

Agradeço ao Leandro por todos esses anos de amizade prestativa.

E finalmente, agradeço a **Deus**.

RESUMO

O objetivo desse trabalho é compreender o papel do experimento na construção do conhecimento. Analisamos o experimento da radiação do frio realizado pelo Conde Rumford em 1802, e suas implicações de natureza teórica em relação à concepção de calor. Para tanto, revisamos alguns estudos anteriores realizados por Rumford que propiciaram uma melhor compreensão de sua trajetória até ele realizar o experimento. Podemos dizer que a hipótese adotada por Rumford sobre a natureza do calor, determinou de forma decisiva a interpretação dada aos resultados experimentais. Para a realização dessa pesquisa recorreremos a textos originais publicados pelo Conde Rumford, principalmente aquele em que ele descreve o experimento da radiação do frio. Por meio desta análise, concluímos que, apesar de muito importante para a construção do conhecimento, o resultado experimental não é suficiente para validar ou refutar uma hipótese definitivamente.

Palavras-chave: Conde Rumford; calor; experimento; radiação do frio; calórico.

ABSTRACT

This work has the purpose to understand the role of experiment in constructing knowledge. Here we have analyzed the radiation of cold experiment performed by Rumford in 1802 and its theoretical implication concerning the heat. Regarding this we reviewed some Rumford's early studies which led us to a better understanding of his trajectory until he could perform his experiment. We can say that the hypothesis adopted by Rumford related to the nature of heat determined decisively the interpretation given by him to the experiment results. We consider here original texts published by Rumford, specially *An Experimental Inquiry Concerning the Source of Heat Which is Excited by Friction* in which he described his radiation of cold experiment. Through this study we concluded that although experiments results are very important for the construction of knowledge, they are not sufficient to validate or refute a hypothesis definitely.

Keywords: Count Rumford; Heat; Experiment; Radiation of cold; caloric

SUMÁRIO

Introdução.....p. 09

Capítulo 1

Benjamin Thompson, Conde Rumford.....p. 11

O experimento do canhão.....p. 17

Capítulo 2

Do calor radiante à radiação do frio.....p. 24

Rumford e a radiação do frio.....p. 33

A radiação do frio: O experimento de Pictet segundo a perspectiva de Rumford.....p. 41

Considerações Finais.....p. 53

Bibliografia.....p. 55

INTRODUÇÃO

Na presente pesquisa, procuramos analisar a concepção de calor de Benjamin Thompson, Conde Rumford (1753-1814), a partir de um de seus experimentos. Thompson é bem conhecido pelo seu famoso “experimento do canhão” em que, por atrito, foi possível obter uma enorme quantidade de calor. Livros didáticos de Física¹ geralmente trazem esse experimento para ilustrar e introduzir estudos sobre o calor. Nesta pesquisa, entretanto, constatamos que esse experimento foi apenas um ponto de partida para que Thompson pudesse repensar a concepção de calor compartilhada por seus contemporâneos.

Dentre os vários experimentos realizados por ele, encontramos um conhecido como “experimento da aparente radiação do frio”. Este experimento, que outrora havia sido realizado por Marc-Auguste Pictet (1752-1825), foi reproduzido por Thompson em 1802. Embora tenha reproduzido este experimento, ele interpretou os resultados de forma diferente de seu amigo Pictet. Assim, buscando abranger a relação entre o experimento e a construção das concepções teóricas no século XVIII - de modo a compreender a função do experimento na construção do conhecimento - esta pesquisa tem por objetivo estabelecer a relação entre a hipótese formulada por Thompson e as conclusões que resultaram do experimento da radiação do frio.

Para tanto, consideramos, nesta pesquisa, alguns documentos originais. Estudamos e analisamos artigos publicados por Thompson, especialmente aquele em que descreveu o experimento da aparente radiação do frio, intitulado *An Inquiry concerning the Nature of Heat, and the Mode of its*

¹ Vide, por exemplo, Nussenzweig, *Curso de Física Básica*, 167 e Tipler, *Física para Cientistas*, 600.

Communication, e, também, o livro *An Essay on Fire* que o inspirou a realizar essa empreitada, publicado por Pictet.

Para ajudar na análise, consultamos a literatura secundária, especialmente os estudos de James Evans, Brian Popp e de Hasok Chang.

Por meio dessa análise, concluímos que Thompson somente foi capaz de encontrar as radiações “frigoríficas” por utilizar uma hipótese que tornava possível analisar os resultados do experimento segundo a existência real do frio.

Esta dissertação está dividida em dois capítulos, seguidos de considerações finais. No primeiro capítulo, apresentamos uma visão geral das relações profissionais de Thompson em diversas áreas, além de uma breve análise do famoso experimento do canhão, apontando para alguns aspectos que o teriam influenciado teoricamente no que diz respeito à formulação da sua ideia de calor. No segundo capítulo, analisamos o experimento realizado por Pictet e Thompson sobre a aparente radiação do frio, procurando mostrar duas diferentes interpretações do mesmo experimento.

Embora possa parecer simples estabelecer uma relação entre teoria e experimento, notamos que duas diferentes concepções teóricas podem apontar para dois diferentes caminhos de interpretação de modo que um experimento necessariamente não traz uma resposta definitiva para um determinado problema apresentado, tal como ocorreu com os resultados do “experimento da radiação do frio”.

CAPÍTULO 1

Neste capítulo buscaremos apresentar uma visão geral das relações profissionais de Benjamin Thompson (1753-1814) em diversas frentes, e, também, uma breve análise do “experimento do canhão”, apontando para as influências teóricas no que diz respeito à formulação da sua ideia de calor.

Benjamin Thompson, Conde Rumford

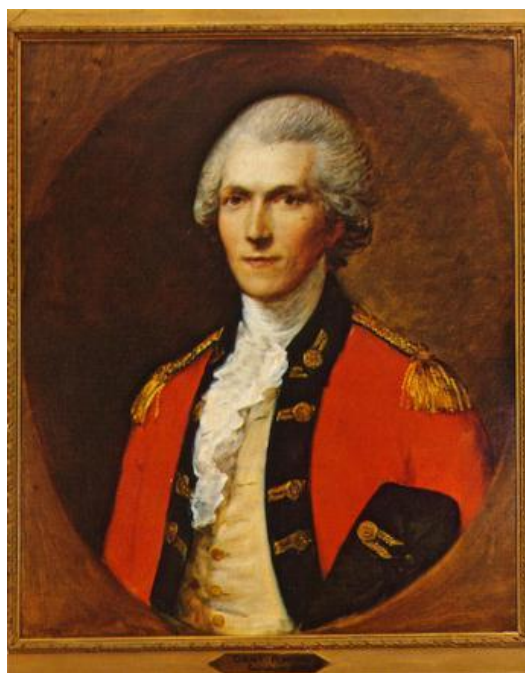


Figura 1: Benjamin Thompson, Conde Rumford
Fonte: <http://www.rumford.com/Rumfordpicture.html>

Benjamin Thompson (1753-1814) nasceu em uma família de fazendeiros na pequena cidade rural de Woburn nos Estados Unidos. Segundo G. I. Brown, ele teria frequentado escolas locais e mostrado, desde cedo, grande

interesse por matemática, especialmente a aritmética, pelos princípios de mecânica e pela filosofia natural.²

Pouco sabemos sobre sua formação inicial. Temos apenas notícias de que ele estudou em escolas locais na cidade de Woburn. De acordo com Goldfarb, ele recebera apenas dois anos de educação formal.³

Dentre seus interesses em ciência, alguns historiadores e biógrafos afirmam que ele tinha também interesse por astronomia de modo que procurou calcular quando ocorreria um eclipse solar⁴. Os mesmos historiadores observam que ele também reproduziu o experimento da pipa de Benjamin Franklin (1706-1790) durante uma tempestade, e possivelmente, teria tentado construir uma máquina de movimento perpétuo, descrevendo-a como uma combinação de “rodas e poder mecânico” e uma máquina elétrica, não muito diferente do gerador de Van de Graaff.⁵ Além disso, Segundo G.I. Brown, seu interesse por ciência era tão grande que chegou até a frequentar, ainda jovem, palestras sobre filosofia experimental em Harvard.⁶

Em 1771, ainda em Woburn, Thompson trabalhou para as famílias ricas locais, ensinando suas crianças a ler e a escrever. Aproveitara também a oportunidade para lecionar um pouco de aritmética e alguma ciência elementar a essas mesmas crianças.⁷

No ano seguinte, segundo G.I. Brown, Thompson foi convidado pelo Reverendo Timothy Walker (1705-1782), ministro em Concord, New Hampshire, a ensinar naquela cidade. Foi nessa época que ele conheceu

² S. Brown, “Thompson, Benjamin,” in *Dictionary of Scientific Biography*, 350-352.

³ Goldfarb, “Rumford's Theory,” 30.

⁴ G. I Brown, *Count Rumford the Extraordinary Life*, 6.

⁵ Van de Graaff, “A 1,500,000 Volt Electrostatic Generator,” 1919-1920.

⁶ G. I Brown, *Count Rumford the Extraordinary Life*, 6.

⁷ Ibid.

Sarah Walker Rolfe (1739-1792), filha do Reverendo, com quem se casou. A respeito disso, G. I. Brown observa que o casamento de Thompson com Sarah foi importante porque o introduziu a um seleto grupo de pessoas, como, por exemplo, o governador real de New Hampshire que mais tarde o comissionaria como major.⁸

Podemos dizer que Thompson foi um ativista conservador, tomando partido britânico na Revolução Americana. Além disso, teve uma breve carreira militar na Carolina do Sul e em Long Island, New York. Mas, em março de 1776, Thompson e outros soldados e civis abandonaram os Estados Unidos e foram para a Inglaterra, deixando em solo americano sua esposa e filha, com quem, segundo G. I. Brown, voltaria a se encontrar vinte anos depois.⁹

A chegada de Thompson na Europa mudou, de certa maneira, sua vida, visto que realizou diversas atividades que lhe deram grande projeção e notoriedade.¹⁰ Como bem observa G. I. Brown, sempre mantendo boas relações, Thompson chegou em Londres muito bem recomendado pelo governador de New Hampshire e logo assumiu cargos políticos importantes, como o de Secretário da Província da Geórgia¹¹.

Isso, entretanto, não o impediu de realizar suas investidas científicas que tanto o agradavam.¹² No período que esteve em Londres, realizou uma série de experimentos, principalmente relativos a armas de fogo e a velocidade de projéteis. Resultados desses experimentos foram publicados por ele num artigo

⁸ Ibid., 15.

⁹ Ibid.

¹⁰ Ibid.

¹¹ Ibid., 24.

¹² Ibid., 19.

intitulado *New Experiments upon Gunpowder*, publicado na *Philosophical Transactions of the Royal Society*.¹³

Podemos dizer que este primeiro trabalho de Thompson deu a ele certa notoriedade no meio acadêmico daquela época. De acordo com G. I Brown, os resultados do experimento relativos à velocidade dos projéteis introduziu Thompson a um seleto grupo de pessoas influentes, dentre os quais Sir Joseph Banks (1743-1820), tornando-se logo depois membro da *Royal Society of London*.¹⁴

Convém observar que estudos relacionados a armamentos bélicos eram importantes naquela época. A investigação experimental de Thompson sobre a pólvora e a velocidade dos projéteis parece ser exemplo disso. Outro ponto que também parece apontar nessa direção está relacionado à atividade de Thompson. Após seus serviços prestados ao exército britânico, Thompson encerra sua participação com 31 anos de idade, decidindo prestar serviços na Bavária. Em 1784, Thompson aceitou o convite feito pelo Eleitor da Bavária, Carl Theodore (1724-1799), para trabalhar como consultor do exército.¹⁵

Segundo G. I. Brown, foi durante a estadia como consultor na Bavária que Thompson realizou as mais importantes investigações nos mais diversos campos de atuação, criando diversas invenções.¹⁶ Foi naquela época que ele realizou os seus mais importantes experimentos, dentre os quais o “célebre” experimento do canhão, como veremos mais adiante.

A influência de Thompson parece ter sido grande na Bavária. Como militar, em meados de 1791, foi nomeado Coronel do Exército Inglês, Ministro

¹³ Thompson, *Complete Works*, 1-97.

¹⁴ G. I Brown, *Count Rumford the Extraordinary Life*, 27.

¹⁵ *Ibid.*, 39.

¹⁶ *Ibid.*, 37-59.

da Guerra, Ministro da Polícia, Major-General, Tesoureiro da Corte e Conselheiro do Estado da Bavária.¹⁷ Além disso, Thomas observa que ele foi bem reconhecido pelas autoridades locais na Bavária em virtude de seus trabalhos filantrópicos, a exemplo da construção da *Casa da Indústria*.

Munique, a então capital da Bavária, era assolada pelo alto índice de mendicância. Para ajudar a sanar tais problemas, Thompson procurou alojar esses mendigos em algo semelhante a um reformatório, ao qual chamou *Casa da Indústria*. Nesse abrigo, por assim dizer, os mendigos passaram a receber alimento, um salário e treinamento para confeccionar os uniformes do exército. Na *Casa da Indústria*, homens, mulheres e crianças trabalhavam cerca de quatorze horas por dia.¹⁸

Foi ainda nessa época, mais precisamente em 1793, que Thompson ganhou do Duque da Bavária o título de Conde do Sacro Império Romano, adotando o nome de conde Rumford, em homenagem ao antigo nome da cidade de Concord, New Hampshire.¹⁹ Três anos depois, em 1796, teria criado prêmios para os estudos nos campos do calor e da luz em duas instituições, a *Royal Society of London* e a *American Academy of Science* de Boston.²⁰

A vida de Rumford era cheia de idas e vindas entre a Bavária e a Inglaterra. No ano de 1799, em uma de suas temporadas em Londres, Thompson, juntamente com seus amigos Joseph Black (1728-1799), Thomas Young (1773-1829), Humphry Davy (1778-1829), entre outros, fundaram uma

¹⁷ Thomas, "Benjamin Thompson", 16.

¹⁸ *Ibid.*, 14.

¹⁹ G.I. Brown, *Count Rumford the Extraordinary Life*, 54.

²⁰ Thomas, "Benjamin Thompson", 17.

entidade que buscava transmitir o conhecimento científico de maneira simples e útil para toda sociedade, a *Royal Institution of Great Britain*.²¹

Tendo por objetivo difundir o conhecimento científico, a *Royal Institution* buscava não só divulgar as novas descobertas científicas, mas também aplicá-las. Segundo Mulatti, Rumford usou argumentos para justificar as razões dos trabalhos relacionados ao calor, tema que a ele muito interessava e propôs ser estudado na *Royal Institution*.²² Para Rumford, as pesquisas relacionadas ao estudo do calor poderiam produzir melhores condições de vida aos menos favorecidos. Conhecer o que era o calor poderia ajudar as pessoas em aspectos práticos da vida.

Podemos dizer que, para Rumford, o estudo das concepções do calor convergiria para possíveis aplicações práticas e úteis. Desde anos antes, Thompson já investigava a natureza do calor por meio da realização de inúmeros experimentos, que culminaram em sua elaboração conceitual do calor e assim, posteriormente, na invenção ou aprimoramento de aparelhos, dentre eles, fogões, forno de convecção, panela de pressão, entre outros.²³

Compreendemos, portanto, a motivação que levou Thompson a dedicar sua vida ao estudo do calor. Nessa área, o seu trabalho mais conhecido foi realizado nos arsenais de Munique e tratava-se da investigação da natureza do calor a partir da observação da elevação da temperatura produzida pelo atrito entre partes metálicas de canhões.

²¹ Ibid., 17-23.

²² Mulatti, "As Origens da Royal Institution," 33-34.

²³ Thomas, "Sir Benjamin Thompson," 15.

O experimento do canhão

Thompson realizou diversos trabalhos acerca da natureza do calor. O trabalho mais famoso de Rumford foi aquele que ficou conhecido como o “experimento do canhão”, sendo amplamente apresentado em livros didáticos de introdução à física, tanto para a educação básica quanto no ensino superior.²⁴

Como já discurremos anteriormente, enquanto trabalhou para o exército da Bavária Rumford realizou diversos estudos. Dentre esses estudos, ele produziu uma série de experimentos no arsenal de Munique no ano de 1797. Esses experimentos visavam investigar a quantidade do calor produzido pelo atrito de partes metálicas dos canhões.

As conclusões desses experimentos, conhecidos como “experimento do canhão”, foram reportadas à *Royal Society* em 25 de janeiro de 1798 em um artigo intitulado *An Experimental Inquiry Concerning the Source of Heat Which is Excited by Friction*, no qual Rumford apresentou importantes discussões sobre a natureza do calor.

Nesse artigo, Rumford relatou seu constante contato com canhões em suas atividades nos arsenais de Munique, que o possibilitaram observar um fenômeno que o deixou intrigado. Segundo Rumford:

“Estando envolvido, ultimamente, na supervisão da perfuração de canhões nas oficinas do arsenal militar de Munique, fiquei impressionado com o considerável alto grau de calor adquirido por

²⁴ Vide, por exemplo, Nussenzweig, *Curso de Física Básica*, 167 e Tipler, *Física para Cientistas*, 600.

*uma arma de bronze em um curto espaço de tempo ao ser perfurada e, ainda mais, com o intenso calor (muito maior do que o da água fervente, tal como encontrado no experimento) das aparas metálicas separadas pela broca.*²⁵

Em outros termos, o atrito entre partes metálicas dos canhões produzia um intenso calor, que impressionava Rumford tanto no que dizia respeito a sua intensidade quanto ao curto intervalo de tempo em que era produzido. Tal fenômeno deixou-o surpreso, pois essa constatação parecia contradizer a concepção de calor aceita pela maioria dos filósofos naturais daquela época.

Segundo essa concepção bem aceita, o calor era considerado um fluido sutil que, de alguma forma, se direcionava para dentro do corpo, quando esse era aquecido, e para fora, quando era resfriado. Ou seja, de acordo com essa concepção, quanto maior era a quantidade de “calórico” dentro de um corpo, mais aquecido ele estava e, quanto menor, mais frio se tornava.²⁶

Considerado um fluido real, o calórico era ainda imponderável. A sua introdução num corpo não acarretava o aumento de seu peso, ou seja, o aumento de sua massa. Para Antoine Lavoisier (1743-1794), por exemplo, o calórico seria uma substância real de modo que ele o listou em sua tabela de trinta e três elementos químicos, de 1789. Podemos dizer que a falta de evidências que mostrassem o aumento da massa do corpo aquecido, devido à presença do calórico, fez com que estudiosos, como Lavoisier, considerassem-no um fluido real e imponderável.²⁷ A explicação do aquecimento e resfriamento

²⁵ Thompson, “An Experimental Inquiry Concerning the Source of Heat Which is Excited by Friction,” 81.

²⁶ S. Brown, “The Caloric Theory of Heat,” 367.

²⁷ G.I. Brown, *Count Rumford the Extraordinary Life*, 80.

de um corpo, portanto, era simples. Visto que esse fluido sutil, o calórico, rodeava as partículas que compunham um corpo, se um corpo esquentava, isso se dava porque esse fluido era acrescentado ao corpo e, se esfriava, porque ele era retirado desse mesmo corpo.²⁸

Além disso, o aumento ou diminuição da quantidade de calórico em um corpo explicava também a expansão e a contração térmicas. Ou seja, embora não se constatasse aumento de massa, o aumento da quantidade de calórico implicava o aumento do volume de um corpo. Isso explicava por que razão um corpo quente expandia e um frio contraía.²⁹

Assim, o calor gerado por atrito, como no experimento do canhão, era explicado da seguinte maneira: ao atritarem-se dois corpos o calórico seria expelido, indicando assim uma elevação da temperatura no sistema externo aos dois corpos atritados.

Contudo, embora o calórico explicasse a elevação da temperatura, ele, entretanto, não explicava a imensa quantidade de calor que era expelido em um enorme intervalo de tempo no experimento do canhão. Foi justamente essa constatação que fez Rumford repensar alguns aspectos da concepção de calor aceite, como podemos ver no seguinte excerto:

“Quanto mais medito nesses fenômenos, mais eles me aparecem curiosos e interessantes. Uma investigação minuciosa desses fenômenos pareceu (...) fornecer-nos um discernimento maior da natureza oculta do calor; e permite-nos levantar algumas conjecturas razoáveis em relação à existência ou à não-existência de

²⁸ S. Brown, “The Caloric Theory of Heat,” 368.

²⁹ Ibid.

*um fluido ígneo: um assunto do qual as opiniões dos filósofos têm, em todas as eras, sido muito divergentes.*³⁰

Ou seja, Rumford viria a desconfiar que a causa do aumento ou diminuição do calor num corpo poderia não estar relacionado com a entrada ou a saída de um “fluido ígneo”, isto é, o calórico. Após as observações realizadas em seu arsenal, Rumford decidira, então, investigar meticulosamente a natureza desse fenômeno. Através de uma série de experimentos, ele procurou indagar-se sobre o comportamento do calor sem, no entanto, admiti-lo como um fluido.

Em outros termos, segundo Rumford, a concepção de calórico não poderia explicar a imensa quantidade de calor produzida no experimento, pois, se o calor fosse resultado da entrada e da saída de um fluido, ele deveria ser finito.

*“Vimos que uma quantidade considerável de calor pode ser gerada pela fricção de duas superfícies metálicas, sendo desprendida em um fluxo constante em todas as direções, sem interrupção, e sem quaisquer sinais de diminuição ou exaustão.”*³¹

Em outros termos, Rumford queria dizer que se assumíssemos a concepção de calor como fluido, seria necessário admitir que o fluido que ocupasse certo recipiente de capacidade conhecida, necessariamente

³⁰ Thompson, “An Experimental Inquiry Concerning the Source of Heat Which is Excited by Friction,” 98.

³¹ Ibid.

possuiria a capacidade desse recipiente. Ou seja, se o calórico ocupava um determinado corpo de volume finito, ele também deveria ter um volume finito.

Desse modo, ao atritar dois corpos, de tal modo que esse atrito produzisse calor, o aumento da temperatura deveria cessar ao término da emissão do fluido, visto que o calórico era finito. Assim, quando Rumford friccionou as partes do canhão, ele constatou que a produção de calor, por longos períodos de tempo, não cessava, o que o levava a concluir que a concepção do calórico não explicava o fenômeno satisfatoriamente.

Assim, o aparente fracasso do calórico em explicar o que era observado levou Rumford a pensar na necessidade de reformular a concepção da natureza do calor, ou seja, colocar em teste a concepção do calórico:

“Mas meditando sobre os resultados de todos esses experimentos, nós somos naturalmente levados àquela grande questão que tem sido frequentemente objeto de especulação entre filósofos, ou seja, o que é calor? - Existe alguma coisa como um fluido ígneo? - Existe alguma coisa que pode, com propriedade, ser chamada calórico?”³²

Convém observar que nessa etapa de sua investigação Rumford ainda não tinha com clareza o que deveria ser o calor. Ele, desse modo, não apresentou nenhuma solução para a questão, apontando apenas para o seguinte problema:

³² Ibid.

“Estou muito longe de saber como, por quais meios, ou quais artificios mecânicos, que tipo de movimento particular dos corpos, que supostamente produz o calor, é animado, contínuo e propagado; e eu não devo incomodar a Sociedade com meras conjecturas; particularmente sobre um assunto que, durante tantos milhares de anos, os filósofos mais esclarecidos esforçaram-se em vão para compreendê-lo.”³³

Apesar de bem formulados, o próprio Rumford observa que o seu experimento e os seus argumentos ainda não seriam suficientes para convencer os filósofos naturais de seu tempo. Isso porque, além de explicar diversos fenômenos associados ao calor, a concepção do calórico também respondia, de maneira satisfatória, ao problema apresentado por Rumford.

Com efeito, segundo S. Brown, J. B. Emmett teria explicado o experimento do canhão baseando-se na ideia de que a concentração do fluido calórico em metais era imensamente maior do que em outros materiais. Assim, quando as suas partes entravam em contato umas com as outras a emissão de calórico diminuía. Ou seja, a compressão do metal sobre o calórico evitava a emissão do fluido, fazendo com que, ao ser atritado, o metal não emitisse todo o calórico nele contido.³⁴

Contudo, apesar de não ter apresentado formalmente sua concepção, Rumford concluiu seu artigo apontando para alguns aspectos de sua ideia de calor, como podemos constatar na seguinte passagem:

³³ Ibid., 99-100.

³⁴ S. Brown, “The Caloric Theory of Heat,” 371.

“É quase desnecessário acrescentar que aquela coisa qualquer, cujo corpo isolado qualquer, ou sistema de corpos, possa continuar a fornecer algo sem limitação, possivelmente não possa ser uma substância material.”³⁵

Ou seja, para Rumford, o calor não poderia ser uma substância ou fluido. Como veremos a seguir, essa hipótese parece ter direcionado Rumford para outros experimentos relativos ao calor.

³⁵ Thompson, “An Experimental Inquiry Concerning the Source of Heat Which is Excited by Friction,” 99.

CAPÍTULO 2

O presente capítulo trata da investigação das influências teóricas de Rumford, assim como do processo de construção da sua concepção de calor, e suas implicações na elaboração e análise dos resultados de seu experimento da radiação do frio.

Do calor radiante à radiação do frio

Em maio de 1802, Thompson deixou Londres e partiu para o continente para tratar da manutenção de uma pensão que recebia em Munique. Nesse trajeto, passou por Paris, onde se encontrou com Marie-Anne Pierrette Paulze (1758-1836), conhecida como Madame Lavoisier. Entretanto, devido a conflitos entre Inglaterra e França, após seu encontro com Madame Lavoisier, teve de abandonar aquele país.³⁶

Rumford partiu então para Munique em agosto de 1802, onde permaneceu por seis meses. Durante essa temporada, continuou com suas investigações experimentais sobre o calor e publicou alguns resultados de seus experimentos num artigo intitulado *An Inquiry concerning the Nature of Heat, and the Mode of its Communication*, na *Philosophical Transactions of the Royal Society* em 1804.³⁷

³⁶ G. I. Brown, *Count Rumford the Extraordinary Life*, 137.

³⁷ Thompson, "An Inquiry concerning the Nature of Heat, and the Mode of its Communication," 77-182.

Como o próprio título sugere, nesse trabalho Rumford apresentou alguns resultados relativos a experimentos ligados à propagação do calor. Cabe observar que, naquela época, esse assunto era bastante discutido por filósofos naturais que estudavam o calor.

Segundo Evans e Popp, esses experimentos estavam ligados a outros, como aqueles que buscavam compreender e demonstrar a dissociação do calor e da luz, que, por sua vez indicavam a diferença entre o calor propagado por condução e transmitido por convecção, ou seja, entre o calor propagado de partícula a partícula nos fluidos e sólidos e o calor propagado em fluidos, proporcionado pela diferença de densidade gerada pela mudança na temperatura dos gases ou líquidos.³⁸

Podemos perceber que o calor radiante teria propagação independente da existência de qualquer meio material, fluidos ou sólidos, e sua propagação se assemelhava a dos feixes de luz. Rumford passou a interessar-se por essas questões em 1796 quando recebeu o tratado *Essay on Fire* (1790), publicado por seu amigo Marc-Auguste Pictet (1752-1825).³⁹ Dedicada ao estudo do calor, essa obra chamou a atenção de Rumford, levando-o a se debruçar novamente sobre os estudos e experimentos que vinha realizando.

Rumford interessou-se especialmente por um experimento descrito por Pictet no terceiro capítulo do *Essay on fire*. Esse capítulo, tal como sugere o título, se propunha a analisar “*Vários Experimentos Sobre o Calor - Descrição do Aparato Empregado - Efeito da Cor e natureza das superfícies relativas à*

³⁸ Evans & Popp, “Pictet’s Experiment,” 738.

³⁹ Pictet, *Essay*.

*Reflexão de Calor – Experimento Sobre a Refração do Calor - Sua Velocidade -
Aparente Reflexão do frio.*⁴⁰

Analises agora o comportamento do calor em situações particulares. Dentre essas diferentes situações e experimentos apresentados, Rumford se interessou especialmente por aquele relacionado à “Aparente Reflexão do frio”. Ele manifestou seu entusiasmo por esse experimento numa carta encaminhada a Pictet, cujo excerto descrevemos abaixo:

*“(..).Fiquei muito impressionado com essa experiência, visto que o seu resultado não foi só inesperado, mas também extraordinário. Sua explicação sobre o fenômeno é clara e engenhosa, embora eu não possa deixar de querer que um assunto, que traz tão grandes implicações, e que conduz a conclusões de muita importância para a doutrina do calor, deva ser investigado com mais profundidade.*⁴¹

O livro de Pictet, intitulado *On Essay on Fire*, dava continuidade aos estudos de diversos pensadores do século XVIII.⁴² Nessa obra, o filósofo natural suíço dedicou-se a investigar o calor radiante segundo o ponto de vista da teoria do calórico em diversos experimentos.

Curiosamente um desses experimentos fugiu às expectativas de Pictet. Tratava-se daquele que apresentou indícios de uma aparente radiação do frio. Esse experimento foi realizado quando Pictet investigava a natureza da radiação do calor. E foi esse que inspirou Rumford a realizar sua empreitada

⁴⁰ Ibid., 85.

⁴¹ Chang, “Rumford and the Reflection,” 142.

⁴² Pictet, *Essay*, 53.

experimental que deu origem ao trabalho *An Inquiry Concerning the Nature of Heat, and the Mode of its Communication*, como veremos mais adiante.

Mas cabe aqui observar que antes de realizar este experimento (o da aparente radiação do frio), Pictet realizou outro que desencadeou naquele que é a razão de nosso estudo. Quando investigava a reflexão do calor radiante, Pictet refez um experimento que já era muito conhecido desde tempos antigos,⁴³ em que se analisava o comportamento das emanações de uma fonte de calor frente a espelhos côncavos.⁴⁴ Pictet o descreveu da seguinte maneira:

*“Nós colocamos dois espelhos côncavos de estanho, que fazem parte do meu aparato físico, um frente ao outro em uma grande sala, a uma distância de 12 pés e 2 polegadas. Estes espelhos têm um pé de diâmetro, e sua convexidade é de uma esfera cujo raio é 9 polegadas, e eles estão moderadamente polidos. No foco de um destes espelhos foi colocado um termômetro de mercúrio, cujo bulbo foi isolado e, no foco do outro, um projétil de ferro com cerca de 2 polegadas de diâmetro, aquecido, não luminoso, nem visível no escuro.”*⁴⁵

O resultado, como já era sabido por Pictet, evidenciava a propriedade reflexiva do calor radiante:

“Vamos refletir um momento sobre as vantagens desta disposição para aumentar o efeito do calor a uma determinada distância. A partir

⁴³ Evans & Popp, “Pictet’s Experiment,” 738.

⁴⁴ Pictet, *Essay*, 86-116.

⁴⁵ *Ibid.*, 86-87.

da posição dos espelhos opostos um ao outro, e a partir das leis da catóptrica, segue-se que uma emanção reflexiva, excitada no foco de um destes espelhos, que é enviada de volta, em parte, pela superfície do espelho em forma de um feixe de raios paralelos sobre o espelho oposto; então, por meio de uma segunda reflexão, ela é novamente coletada no foco deste último [espelho], em um grau de densidade que não poderia ter alcançado sem este artifício.”⁴⁶

Em outros termos, seguindo as leis da óptica para a luz, as emanções oriundas de uma fonte luminosa tinham comportamento característico conforme sua incidência no espelho côncavo. Quando feixes de luz partiam do foco de um espelho côncavo e incidiam na superfície deste, eles se refletiam formando feixes paralelos. Ao contrário, se esses feixes incidissem paralelamente à superfície de um espelho côncavo, seriam refletidos em direção ao seu foco.

A ideia de Pictet era introduzir, no lugar de uma fonte luminosa, uma fonte de calor, água fervente, por exemplo, e analisar se esta geraria emanções que se comportariam como os feixes de luz. Para tanto, como nos referimos acima, foram utilizados dois espelhos côncavos, alocados um em frente ao outro; no foco do primeiro espelho foi colocada uma fonte de calor e, no segundo, um termômetro, que indicaria um possível aumento de temperatura, mostrando assim uma grande concentração de emanções de calor naquele ponto.

A ideia era mostrar que o calor radiante refletia-se num dos espelhos e chegava até o termômetro que estava alocado no foco do outro espelho. Assim, o calor partia da fonte, posicionada no foco de um dos espelhos, onde incidia e era refletido. Tal como a luz, o calor se propagaria em feixes paralelos e

⁴⁶ Ibid.

incidiria sobre a superfície do segundo espelho. Os raios aí seriam, então, direcionados ao foco, onde se localizava o termômetro que indicaria o acréscimo na temperatura. O sentido das emanações está indicado na figura 2.

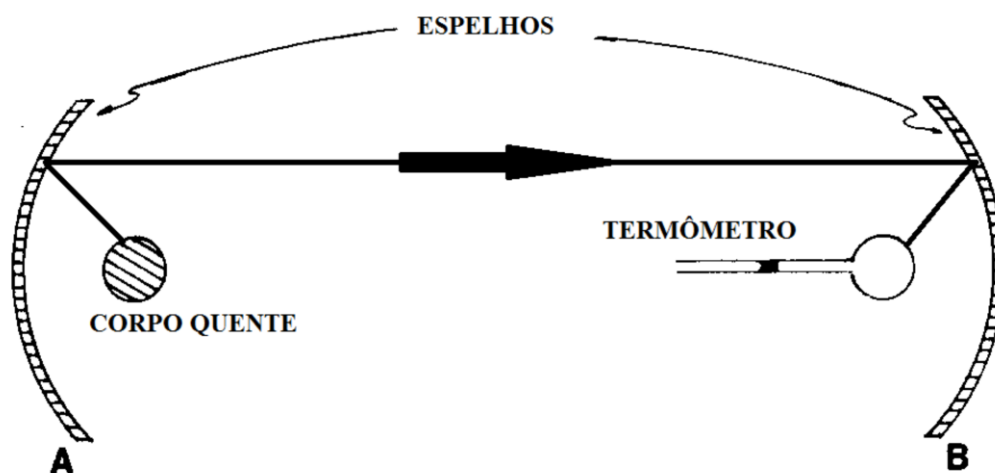


Figura 2: Representação da direção do calor radiante segundo Pictet. (Evans & Popp, "Pictet's Experiment," 738).

Com isso, Pictet viria a concluir que o fluido calórico teria propriedades semelhantes às da luz. Isso implicava que o calor não transmitido pelas então conhecidas formas de emissão naquela época, ou seja, por condução, partícula a partícula, ou por convecção, proporcionada pelas diferentes densidades no ar, já que essas formas de transmissão não obedeciam às leis da óptica.

Pictet relatou este experimento a seu amigo, o matemático e professor da Academia de Genebra, Mr. Bertrand, que logo se reportou a Pictet perguntando-lhe se ele acreditava que o frio, assim como o calor, também poderia ser refletido. A esse respeito, Pictet foi enfático em sua resposta e, imediatamente, negou essa possibilidade.⁴⁷

⁴⁷ Ibid., 117.

Apesar de suas convicções, Pictet, entretanto, decidiu realizar o experimento para certificar-se de que o frio não refletiria nos espelhos. Desse modo, utilizando o mesmo aparato, Pictet colocou no lugar da fonte quente, isto é, no foco de um dos espelhos, uma fonte fria:⁴⁸

“Eu dispus o aparato exatamente como na experiência para a reflexão do calor, e empreguei os dois espelhos de estanho, [colocando-os] a uma distância de 10 1/2 pés um do outro. No foco de um deles estava um termômetro de ar, que foi observado com as devidas precauções e no foco do outro um matraz cheio de neve.”⁴⁹

Pictet substituiu, assim, a fonte quente por outra que tinha temperatura muito mais baixa que o ambiente, isto é, um balão de vidro de fundo chato cheio de neve.⁵⁰ Contrariando o que era esperado, contudo, o termômetro viria a indicar um decréscimo na temperatura:

“Tendo substituído o matraz no foco, que assim fez a temperatura no termômetro descer até um certo grau, onde permaneceu estacionário, eu derramei ácido nitroso sobre a neve e o frio assim produzido fez com que a temperatura indicada pelo termômetro caísse instantaneamente 5 ou 6 graus.”⁵¹

⁴⁸ Em nota Pictet informa estar ciente da realização do experimento da aparente radiação do frio cerca de 100 anos antes pela *Accademia del Cimento* ou Academia de Florença. Segundo Pictet, esse experimento não gerou conclusões pela falta de precisão. Aparentemente, Pictet somente tomou conhecimento desse fato após ter concluído todo seu trabalho. Pictet, *Essay*, 117.

⁴⁹ Pictet, *Essay*, 117.

⁵⁰ Matraz poderia ser comparado à vidraria conhecida hoje como erlenmeyer.

⁵¹ Pictet, *Essay*, 118.

Embora o termômetro tivesse indicado uma redução na temperatura, apontando assim para uma aparente radiação do frio, Pictet, entretanto, não admitiu que aquilo fosse real. Curiosamente, ele usou esse experimento para fortalecer seu argumento de que o calor poderia ter propriedades radiantes, tal como a luz: *“Este fenômeno não ofereceu nada mais do que uma prova final, se isso tivesse sido necessário, da reflexão de calor.”*⁵²

Para Pictet, nesse segundo experimento o calor irradiava tal como no primeiro. Entretanto, a fonte de calor em cada um dos casos seria diferente. Ao posicionar a fonte fria, ou matraz com neve, no foco de um dos espelhos, este não foi considerado por Pictet como a fonte de radiação. Pictet entendeu que, tal como no primeiro experimento, a fonte de calor residia no outro foco, a saber, no corpo de maior temperatura, isto é, o termômetro. As emanações de calor radiante teriam assim partido do termômetro em direção ao outro espelho, fazendo com que o termômetro perdesse calor. A diminuição da temperatura indicada no termômetro, portanto, evidenciava que o calor partia do termômetro em direção ao outro espelho.⁵³ Podemos ver na figura 3 o sentido das emanações nessa nova disposição.

*“(...) [as emanações de calor] difundem-se em torno do termômetro sob a forma de uma emanação radiante, cuja parte considerável atingiria o espelho A, no foco em que o termômetro está posicionado, e seria refletida em raios paralelos ao espelho B, a partir de onde seria ser transportada para o seu foco.”*⁵⁴

⁵² Ibid.

⁵³ Ibid., 121.

⁵⁴ Ibid., 119-120.

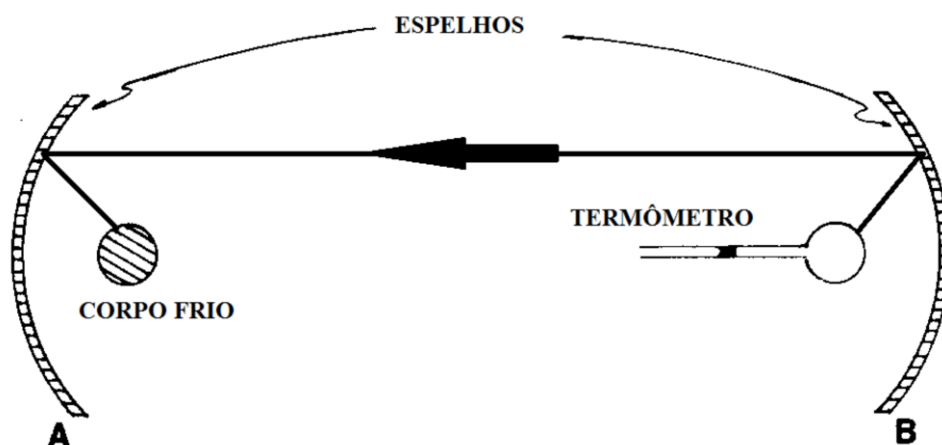


Figura 3: Representação da direção do calor radiante segundo Pictet para o experimento da aparente radiação do frio. (Evans & Popp, "Pictet's Experiment," 738).

Pictet acreditava que a emissão do calor seria estimulada pela diferença de temperatura entre os corpos. A temperatura para o estudo do calor teria função semelhante ao conceito de "tensão" para o estudo da eletricidade, tal como teria idealizado Alessandro Volta (1745-1827).⁵⁵ A diferença de temperatura faria com que o calor partisse do corpo mais aquecido em direção ao corpo menos aquecido. Em outros termos, conforme Pictet alterava a fonte no foco do espelho, de quente para fria, ele também alterava o sentido da emissão do calor, descartando, assim, qualquer possibilidade de existência de uma emissão do frio.

Esse experimento trouxe uma nova evidência que deu a Pictet mais um argumento a favor de sua tese. Para ele seria mais uma indicação da

⁵⁵ Ibid., 12.

existência do calor radiante e de sua reflexão, como ele bem observa dizendo que deveríamos:

“ (...) considerar o efeito calorífico como resultante, não a partir de uma emanção real, mas a partir de uma vibração peculiar no fogo, considerado como se ele fosse um fluido elástico, que preenche o espaço em que o experimento foi feito. Sabe-se que estas vibrações são suscetíveis de serem refletidas de acordo com as mesmas leis como se fossem emanções, cuja reflexão de sons é um exemplo do cotidiano.”⁵⁶

Pictet assim utilizou os resultados desse experimento para fortalecer sua ideia de calor radiante, sugerindo que o calor emanava como um fluido. Seu intuito nesse trabalho era mostrar a característica radiante de certas emanções do calor material e os resultados que, para ele, apontavam para essa direção. Mas por que Pictet não admitiu a radiação do frio? Como veremos a seguir, a razão disso repousava na própria concepção de calor e frio. Para Pictet, o frio era ausência, ou privação, de calor.

Rumford e a radiação do frio

A aparente realidade da radiação do frio, constatada por Pictet, adequou-se de forma bem sucedida à concepção de calor de Rumford, de modo que o experimento de Pictet deu a ele uma ideia que o reorientaria em suas

⁵⁶ Ibid., 123.

investigações. Segundo Rumford, não seria inusitado formular o conceito de calor a partir de pesquisas em experimentos sobre a radiação do frio.⁵⁷

Para melhor compreendermos isso, vamos inicialmente considerar a ideia de calor de Rumford. Em seu trabalho, aqui já antes apresentado, *An Experimental Inquiry Concerning the Source of Heat Which is Excited by Friction* de 1798, Rumford já trazia indícios do que viria a torna-se sua concepção de calor. Nesse artigo, afirmava que:

*“É desnecessário acrescentar que qualquer coisa que possa continuar a fornecer sem limitações algo a um corpo isolado, ou sistema de corpos, [essa coisa] não pode ser uma substância material: e parece-me ser extremamente difícil, se não impossível, para formar alguma ideia distinta de qualquer coisa, capaz de ser animada, e comunicada nestas experiências, a não ser o MOVIMENTO.”*⁵⁸

Pouco sabemos sobre como surgiram as ideias acerca do calor de Rumford. Segundo S. Brown, foram as concepções de Hermann Boerhaave (1668-1738) que o teriam influenciado a repensar a concepção de calor aceita. Teria sido Boerhaave, com a ideia de “fogo” como fluido sutil, que teria dado a Rumford os primeiros rudimentos para a elaboração de sua ideia de éter.⁵⁹

⁵⁷ Thompson, “An Experimental Inquiry Concerning the Source of Heat Which is Excited by Friction,” 158.

⁵⁸ Ibid., 99. (GRIFO NOSSO)

⁵⁹ Cabe ressaltar que Boerhaave foi defensor da concepção material do calor e que suas influências nas idéias de Rumford foram apenas referentes à formulação do conceito de éter. S. Brown, *Count Rumford, physicist extraordinary*, 90-91.

Podemos talvez conjecturar com S. Brown a esse respeito, visto que Rumford declarara, em um artigo publicado em 1804, ter entrado em contato com os trabalhos de Boerhaave aos dezessete anos, entre 1770 e 1771. Além disso, como observa Goldfarb, Rumford teria ainda publicado um artigo em 1781, onde teria citado *A new method of chemistry* (traduzido por Peter Shaw) de Boerhaave.⁶⁰

Mas voltando à ideia de calor de Rumford, ou seja, o calor como movimento, é importante ter em conta que esta ideia era diferente daquela que havia vigorado durante o século XVII. Em outros termos, embora o calor fosse movimento, ele não se confundia com a ideia mecânica de calor.⁶¹ Segundo Rumford, o calor se propagaria num meio, que foi por ele denominado éter.

Não discorreremos sobre esse assunto em detalhes neste trabalho por ultrapassar seus objetivos. Mas queremos apenas observar que as propriedades do éter faziam dele uma substância diferente da matéria comum. Essa substância seria um fluido sutil, tal como o calórico, presente em derredor e dentro de todos os corpos.⁶² Segundo Rumford:

“(...) poderíamos concluir que as partículas que constituem um corpo estão necessariamente em movimento, e se admitirmos a existência de um fluido eminentemente elástico, - um éter que

⁶⁰ Goldfarb, “Rumford's Theory,” 30.

⁶¹ Nomes como Francis Bacon (1561-1626), John Locke (1603-1704), Robert Hooke (1635-1703), Robert Boyle (1627-1691), Isaac Newton (1642-1727), Thomas Young (1773-1829) e Humphry Davy (1778-1829) descreveram o calor como sendo resultado dos movimentos das partículas das quais os corpos são feitos. Segundo a concepção mecânica, o calor seria propagado pelo movimento das partículas, ou seja, uma a uma transmitiriam o calor de um lugar a outro.

⁶² Segundo Stephen Goldfarb, a concepção de calor de Thompson foi inspirada na obra Hermann Boerhaave (1668-1738). Ainda de acordo com Goldfarb, a ideia de “fogo” de Boerhaave parece ter levado Rumford a conceber o éter. Goldfarb, “Rumford's Theory,” 30-31.

*preenche todo o espaço de todo o universo, com a exceção do espaço que é ocupado pelas partículas dispersas dos corpos ponderáveis - é fácil conceber que os movimentos das partículas que compõem os objetos materiais devem causar ondulações nesse fluido e que, por outro lado, as ondulações deste fluido devem afetar em grau sensível os movimentos das partículas destes corpos.*⁶³

Assim, seria por causa do éter que, o calor radiante poderia ser emitido a partir do movimento das partículas. Mas vejamos como Rumford explicaria isto.

Segundo a primeira definição descrita por Humpry Davy (1778-1829), em um resumo para uma série de palestras apresentadas na *Royal Institution* no inverno de 1802, Rumford se referia à existência de “*um meio fluido etéreo existente no espaço*”, meio no qual o calor seria propagado de um corpo para outro. Segundo Davy, a respeito de como o éter se comporta no interior dos corpos e substâncias: visto que “*o meio é difundido através dos poros das diferentes substâncias ponderáveis, em diferentes estados de densidade*”, então o éter seria capaz de penetrar todos os corpos sem, no entanto, invadir suas partículas constituintes.⁶⁴ Desse modo, para Rumford a propagação do calor radiante se daria quando o movimento das partículas constituintes das substâncias produzissem ondulações no éter circundante da matéria, o que configura, portanto, comportamento análogo ao da propagação do som.

Foi em seu artigo, intitulado *An Inquiry concerning the Nature of Heat, and the Mode of its Communication*, que Rumford estabeleceu essa analogia entre a propagação do calor e a do som. Inspirado por essa ideia, Rumford, então,

⁶³ Thompson, *Complete Works*, 172.

⁶⁴ Davy, *The Collected Works*, 391.

elaborou um experimento imaginário, que foi descrito por ele da seguinte maneira:

“Se um sino, ou qualquer outro corpo sólido, perfeitamente elástico, colocado em um fluido perfeitamente elástico, e cercado por outros corpos sólidos elásticos, fosse atingido, e feito vibrar, essas vibrações, gradualmente, seriam comunicadas, por meio das ondulações, ou pulsações, que ocorreriam no meio fluido elástico, por outro corpo rodeado de corpos sólidos e elásticos.”⁶⁵

Como veremos mais adiante, Rumford acreditava que a analogia da propagação do calor com a do som o ajudaria a convencer seus pares de que o calor não era material, mas resultado de movimento. Em outros termos, de maneira semelhante ao som, a propagação do calor radiante ocorreria em um meio estimulado por uma vibração inicial. Em seu experimento imaginário, ao substituir a fonte sonora por uma fonte quente e, a água, pelo éter, Rumford imaginou que o resultado deveria ser o mesmo:

“Supondo agora, que o calor não seja nada mais do que os movimentos das partículas constituintes dos corpos entre si, (uma hipótese muito antiga, e que sempre me pareceu ser muito provável), se substituirmos o sino por um corpo quente, o resfriamento estará

⁶⁵ Thompson, “An Inquiry concerning the Nature of Heat, and the Mode of its Communication,” 156.

*presente por uma série de ações e reações, exatamente similares àqueles descritos.*⁶⁶

Desse modo, segundo Rumford, a propagação do calor radiante dar-se-ia em um meio etéreo estimulado por vibrações de partículas.

Assim como som e o calor radiante possuíam comportamentos semelhantes, seus aspectos secundários, segundo Rumford, também possuiriam comportamento análogo. A esse respeito, Rumford conclui que:

*“Quente e frio, como rápido e lento, são meros termos relativos: e como não há relação ou proporção, entre movimento e um estado de repouso, pelo mesmo motivo isso, não pode haver relação entre qualquer grau de calor e frio absoluto, ou uma privação total de calor: portanto, é evidente que todas as tentativas de determinar o lugar do frio absoluto, na escala de um termômetro, deve ser ineficaz”*⁶⁷

Portanto, assim como sons agudos e graves fazem parte do mesmo fenômeno, para Rumford o mesmo ocorreria com o calor e o frio. O comportamento do som e suas características são determinados pela velocidade de sua propagação no meio material. Segundo Thompson, a diferença na velocidade da propagação do calor radiante no éter determinaria se a emissão seria “calorífica” ou “frigorífica”. De acordo com ele:

⁶⁶ Ibid., 157.

⁶⁷ Ibid.

“As rápidas ondulações ocasionadas no fluido etéreo circundante, pelas vibrações rápidas do corpo quente, atuarão como raios caloríficos sobre os corpos sólidos vizinhos mais frios, e as ondulações mais lentas, ocasionadas pelas vibrações daqueles corpos mais frios, atuarão como raios frigoríficos sobre os corpos quentes.”⁶⁸

Podemos dizer que Rumford notou que o experimento de Pictet confirmava, na verdade, a “realidade” do frio. Desse modo, munido de novas estratégias, Rumford se lançou a uma nova empreitada a fim de convencer a sociedade de sua concepção de calor por meio da investigação do frio radiante.

Assim, como observa Hasok Chang, Rumford teria notado que existiriam três possibilidades metafísicas concernentes ao calor e frio:

1) Frio é uma entidade ou qualidade real positiva, e o calor é a falta do frio;

2) Calor e frio são ambos reais qualidades ou entidades, opostas uma à outra;

3) Calor é uma entidade ou qualidade real positiva, e o frio é a falta do calor.⁶⁹

Havendo assumido o frio e o calor como manifestações diferentes de um mesmo fenômeno, Rumford admitiu que o frio era uma qualidade real, assim como o calor. A partir dessa premissa, Rumford formulou uma hipótese, a qual

⁶⁸ Ibid.

⁶⁹ Chang, “Rumford and the Reflection,” 135.

ele utilizou em todo o seu trabalho de investigação acerca do comportamento das radiações frigoríficas:

“De acordo com essa hipótese, o frio pode, com propriedade, não mais ser considerado como a ausência de calor, como um som baixo ou grave pode ser considerado como a ausência de uma nota mais alta ou mais aguda, e a admissão de raios que geram a frio, não envolve absurdo, e não cria confusão de ideias.”⁷⁰

Finalmente, podemos compreender as razões que levaram Rumford a elaborar seus estudos experimentais analisando a radiação do frio. Entendemos que, ao fazer isso, suas conclusões poderiam ser estendidas ao calor, pois, para ele, os dois tratavam de um mesmo evento da natureza, como veremos adiante.

Depois do primeiro contato com o trabalho de Pictet, Rumford realizou uma tentativa grosseira de detectar a radiação do frio emanada por “bolos de gelo”, não observando, contudo, efeito algum. Rumford já havia planejado uma série de experimentos sobre o calor radiante. O contato com o experimento de Pictet o estimulou a não adiar mais seus projetos. Assim, buscou reproduzir o experimento de Pictet.

Rumford buscou reproduzi-lo, pela primeira vez, na casa de Thomas Hope (1769-1830), em Edinburgh em 1800. Rumford, entretanto, realizou algumas

⁷⁰ Thompson, “An Inquiry concerning the Nature of Heat, and the Mode of its Communication,” 158.

alterações no experimento original e, dois dias depois, escreveu a Pictet confirmando seus resultados.⁷¹

Mas foi em Munique que ele realizaria o experimento definitivamente. Assim, após idas e vindas entre Londres, Paris e Munique, ele finalmente teve a oportunidade de realizar seus experimentos para investigar o frio radiante. Contudo, cabe observar, não pôde levar de Londres para Munique todo o aparato por ele lá adquirido, pois a *Royal Institution*, que havia financiado a confecção desse aparato, reteve sua posse na Inglaterra.⁷² Como veremos a seguir, foi em Munique que Rumford iniciou sua investigação sobre a natureza do calor radiante por meio da análise da radiação do frio.

A radiação do frio: o experimento de Pictet segundo a perspectiva do Conde Rumford

Durante algum tempo Rumford adiou a realização da série de experimentos acerca do calor radiante. Contudo, ciente do experimento realizado por Pictet, que concluía pela aparente radiação do frio, encontrou-se motivado a produzir esse novo trabalho de investigação segundo suas concepções.

Como dito anteriormente, Rumford definiu calor radiante como sendo perturbações no éter geradas pelo perpétuo movimento das partículas que constituem os corpos. Partindo desse princípio, conforme a velocidade dessa ondulação no éter, tal perturbação poderia ter características caloríficas ou frigoríficas conforme a variação da velocidade dessa ondulação no éter.

⁷¹ Chang, "Rumford and the Reflection," 142.

⁷² Evans & Popp, "Pictet's Experiment," 742-743.

O experimento da aparente radiação do frio se tornava importante à medida que creditava a concepção de calor de Rumford. Por conseguinte, ele seguiu atrás da validação da sua hipótese da concepção de calor:

“Mas, antes que eu vá mais longe nestas especulações abstrusas, me esforçarei para investigar algumas das conseqüências, que necessariamente resultarão das radiações dos corpos quentes e frios, supondo que essas radiações existam, e que seus movimentos e ações a sejam regulamentados por certas leis aceitas.”⁷³

Sua ideia era convencer os homens de ciência de sua época de suas concepções sobre ao calor. Para isso, Rumford se prontificou a testar suas hipóteses com experimentos, pois considerou relevante, para sua linha de pesquisa, avaliar essas concepções.

“Como tais conjecturas, se bem fundamentadas, poderiam conduzir a experimentos a partir de resultados, cuja verdade ou falsidade da hipótese em questão poderia ser demonstrada, é muito importante que este assunto seja cuidadosamente investigado. Devo, portanto, pedir a indulgência da Sociedade, enquanto eu me esforço para examiná-las com a atenção que me parece merecer.”⁷⁴

⁷³ Thompson, “An Inquiry concerning the Nature of Heat, and the Mode of its Communication,” 161.

⁷⁴ Ibid., 164.

Assim, Rumford buscou realizar o experimento. Para sua realização, ele utilizou um aparato de grandes proporções:

“Suponha dois espelhos côncavos refletores, de metal altamente bem polidos, cada um deles com 18 polegadas de diâmetro e 18 polegadas de distância focal. Sejam eles colocados um em frente ao outro, a uma distância de 10 pés, em uma sala grande o bastante, em que o ar e as paredes da sala permaneçam constantemente à mesma temperatura (a de água gelada, por exemplo) sem qualquer variação.”⁷⁵

Os dois metais polidos, que ganharam o formato côncavo, estavam em equilíbrio térmico (mesma temperatura) entre si e com o ambiente. Podemos dizer que a montagem do experimento da radiação do frio realizado por Rumford se distinguia daquela realizado por Pictet anos antes. De fato, Rumford procurou organizar seus experimentos, levando em consideração diferentes hipóteses. Ele avaliou, por exemplo, se existiriam outros elementos que poderiam interferir em seu resultado final. Desse modo, foi mais meticuloso e procurou controlar possíveis variáveis que não foram consideradas por Pictet quando realizou seu experimento.

Como vimos, Rumford assumia que corpos a diferentes temperaturas, ou seja, que emitiam radiações de diferentes intensidades, caloríficas ou frigoríficas, poderiam modificar a temperatura dos outros corpos próximos. Assim, ele tomou o cuidado de manter todo o aparato, e não somente os espelhos côncavos, em equilíbrio térmico. Dessa forma, Rumford, segundo sua

⁷⁵ Ibid., 166.

concepção de calor, garantia que possíveis radiações vizinhas não alterassem a temperatura de todo o sistema:

“Se supormos o chão, teto, paredes da sala, portas e janelas revestidas com uma cobertura de gelo, à temperatura da água gelada, podemos então, sem qualquer dificuldade, conceber que a temperatura da sala poderá permanecer a mesma, apesar da presença de corpos quentes, que são trazidos para dentro com a finalidade de fazer experimentos.”⁷⁶

Podemos dizer, que na medida em que tomava esses cuidados com relação a seu aparato, Rumford também atestava a validade de suas concepções. Isso porque, segundo Rumford, qualquer corpo emitiria radiações, caloríficas ou frigoríficas, a todo momento, conforme a agitação de suas partículas. Tais radiações deveriam alterar a temperatura dos corpos vizinhos de diferentes temperaturas. Por essa razão, Rumford tomou esse momento para legitimar essa ideia. Ele o fez através da análise dos dois espelhos a diferentes temperaturas:

“Vamos supor agora que um dos espelhos está à temperatura de congelamento, e o outro, à temperatura da água fervente; e deixe-nos ver quais efeitos eles produziram um sobre o outro, em si, por com suas radiações.”⁷⁷

⁷⁶ Ibid., 166-167.

⁷⁷ Ibid., 167.

E continua, constatando que:

“E primeiro, (...) com respeito ao espelho quente é evidente que ele será resfriado, não apenas pelos raios frigoríficos que vem do metal constituinte do espelho oposto, mas também pelos raios frigoríficos dos lados da sala, colidindo contra a superfície refletora polida do espelho frio; e sendo refletida por aquela superfície, acaba por incidir na superfície do espelho quente sem ser refletida por este.”⁷⁸

Conforme sua concepção de calor, Rumford observou a diminuição da temperatura do espelho quente. Contudo, confirmou essa diferença de temperatura pela incidência de raios frigoríficos na superfície do espelho quente, oriundas tanto do espelho vizinho quanto de toda a sala.

Além de avaliar sua ideia de calor, Rumford também concluiu que as radiações frigoríficas não interfeririam na temperatura do outro espelho, garantindo assim que não haveria interferência no resultado final, pois as únicas radiações que ele deveria observar incidindo ou refletindo dos espelhos seriam aquelas oriundas das fontes, quentes ou frias, posicionadas no foco.

Podemos dizer que o raciocínio empregado por Rumford para o que ocorria com o espelho quente se mostrava análogo para o espelho frio, ou seja, os raios caloríficos provenientes desse espelho não interfeririam no resultado final. Segundo Rumford:

⁷⁸ Ibid.

“Por uma linha de raciocínio semelhante, pode ser mostrado, que a forma do corpo quente (um espelho côncavo) não contribuirá em nada para o efeito que ele produzirá no espelho frio, ao aquecê-lo, por meio dos raios caloríficos emitidos; e que ele mesmo será resfriado nem mais rápido nem mais lento (...), em conta de sua forma peculiar.”⁷⁹

Após essa investigação inicial das radiações vizinhas e de seus comportamentos, Rumford passou a realizar o experimento da radiação do frio. Não obstante, antes de partir para a análise da radiação do frio, Rumford buscou investigar primeiro a radiação calorífica, tal como Pictet tinha feito. A esse respeito, Rumford esclareceu que: *“Esta experiência, que é muito antiga, tem sido frequentemente realizada, e sempre com os mesmos resultados.”⁸⁰*

“Vamos supor que ambos os espelhos estejam na temperatura precisamente da sala, isto é, temperatura da água congelada, e, que um projétil, ou outro corpo pequeno de forma esférica à temperatura da água fervente, seja colocado no foco de um dos espelhos: nós denominaremos tal espelho A.”⁸¹

Como esperado, já que tal experimento era a muito conhecido, os resultados que se seguiram foram:

⁷⁹ Ibid., 168.

⁸⁰ Ibid., 169.

⁸¹ Ibid., 168.

“Como os raios emitidos por este corpo quente são enviados em linhas diretas, em todas as direções, da mesma forma como a luz, que é emitida por corpos luminosos, todos esses raios, aqueles que caem na superfície côncava do espelho polido A, serão refletidos (como é bem conhecido) em linhas quase paralelas ao eixo do espelho; pois eles vão, conseqüentemente, incidir na superfície côncava do espelho oposto B; e lá chegando, estando lá novamente refletidos, eles serão “concentrados” no foco do segundo espelho.”⁸²

De acordo com Rumford, a radiação emitida por essa fonte teria características caloríficas. Tal como a luz, alguns dos raios emitidos oriundos do foco de um dos espelhos incidiriam neste e, quando refletissem, sairiam paralelos ao eixo onde estavam a fonte e o termômetro. Após serem refletidos pelo primeiro espelho, esses raios incidiriam no segundo, seguindo as leis da óptica. Refletiriam necessariamente passando pelo foco, onde estaria posicionado o termômetro, que receberia os feixes e acusaria uma variação de temperatura.

Apesar desse resultado aparentemente satisfatório, Rumford procurou investigar se a radiação que proporcionava a mudança na temperatura do termômetro vinha diretamente da fonte ou se passava pelos espelhos. Como a fonte de calor estava relativamente perto do termômetro, poder-se-ia supor que o aumento da temperatura indicada no termômetro teria sido provocado por radiações diretas e não por aquelas que percorriam todo curso anteriormente descrito.

⁸² Ibid., 169.

Cabe aqui lembrar que a expectativa de Rumford era de que a radiação teria as mesmas propriedades reflexivas se obedecesse às mesmas leis da luz. Assim, para averiguar a origem das emanações que variaram a temperatura do termômetro, Rumford posicionou o termômetro a uma distância muito pequena do foco para verificar se, à medida que os raios se concentravam no foco, haveria ou não aumento de temperatura. Desse modo, Rumford constatou que, como o esperado, nenhuma alteração fora registrada no termômetro, possibilitando concluir que a radiação calorífica vinha realmente do espelho mais distante e não diretamente da fonte, como eventualmente se poderia supor. Assim, observou que, seguindo as expectativas:

“Se agora um termômetro sensível, à temperatura da sala, for colocado neste foco, ele irá imediatamente começar a subir, em consequência do calor gerado nele pela ação destes raios caloríficos, de forma acumulada naquele lugar.”⁸³

Após a reafirmação desse experimento, Rumford buscou mais uma vez testar sua hipótese de que corpos em equilíbrio térmico não alterariam as temperaturas de seus vizinhos. Para isso, ele substituiu a fonte quente por outra que estava à temperatura de “congelamento da água”. Lembramos que, além do aparato, espelhos e termômetro, toda a sala também estava à mesma temperatura, ou seja, todos os componentes do experimento se encontravam no equilíbrio térmico. Assim, observa Rumford que:

⁸³ Ibid.

“À medida que os raios dos corpos à mesma temperatura enviam um para o outro, não possuem a tendência aumentar, ou de diminuir a temperatura destes corpos, a concentração de raios no foco do espelho B, que procede a partir do corpo gelado colocado no foco do espelho A, pode não ter qualquer efeito sobre um termômetro à mesma temperatura, que é exposta a sua ação.”⁸⁴

Como esperado, e de fato observado, não houve variação alguma na temperatura indicada no termômetro. Assim, Rumford observou que:

“Se o calor é um movimento vibratório das partículas constituintes dos corpos, e se os raios que os corpos sensíveis emitem em todas as direções são ondulações num fluido elástico etéreo pelo qual são circundados, ocasionados por esses movimentos; como as pulsações neste fluido devem ser isócronas com as vibrações pelas quais elas são ocasionadas, essas pulsações ou ondulações não podem nem ser aceleradas, nem retardadas pelas vibrações de outros corpos na superfície da qual que elas chegam; providas das vibrações das partículas constituintes de tais corpos, ao mesmo tempo.”⁸⁵

Finalmente Thompson, após esta constatação, realizou o experimento da radiação do frio de Pictet, observando que:

⁸⁴ Ibid., 169-170.

⁸⁵ Ibid., 170.

“Agora isto é o que realmente aconteceu, no célebre experimento do meu amigo o engenhoso Professor Pictet, de Genebra”⁸⁶

Devemos lembrar que todo o ambiente e aparato já estavam à temperatura de congelamento da água, para evitar interferências externas ao sistema. Diferente de Pictet, Rumford usou a fonte fria na temperatura de congelamento do mercúrio.⁸⁷

“Suponha agora que, em vez deste corpo gelado, outro muito mais frio, à temperatura de congelamento do mercúrio, por exemplo, fosse colocado no foco do espelho A, e que um termômetro na temperatura da água gelada fosse colocada no foco do espelho B, qual resultado dessa experiência? - Que [resultaria] a temperatura no termômetro cairia, em consequência de seu resfriamento pela acumulação de raios frigoríficos provenientes deste corpo muito frio.”⁸⁸

Discordando das concepções dos homens de seu tempo, Rumford explicou esse experimento assumindo a realidade metafísica do frio. Em outros termos, seus *raios frigoríficos* teriam sido emitidos pela fonte fria, localizada no foco, incidindo no espelho mais próximo e seguindo até o espelho mais distante, que por sua vez eram refletidos até o foco. O termômetro, assim,

⁸⁶ Ibid.

⁸⁷ A temperatura de fusão (congelamento) do mercúrio é aproximadamente -38,83 °C.

⁸⁸ Thompson, “An Inquiry concerning the Nature of Heat, and the Mode of its Communication,” 170.

receberia essa radiação e sua temperatura diminuiria. Conforme podemos ver nas figuras 4 e 5.

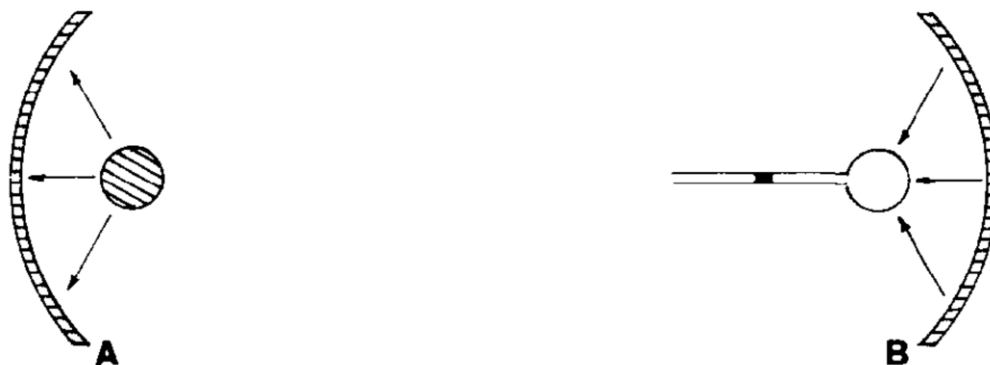


Figura 4: Representação da direção dos raios frigoríficos saindo da fonte fria e chegando no termômetro.

(Evans & Popp, "Pictet's Experiment," 750).

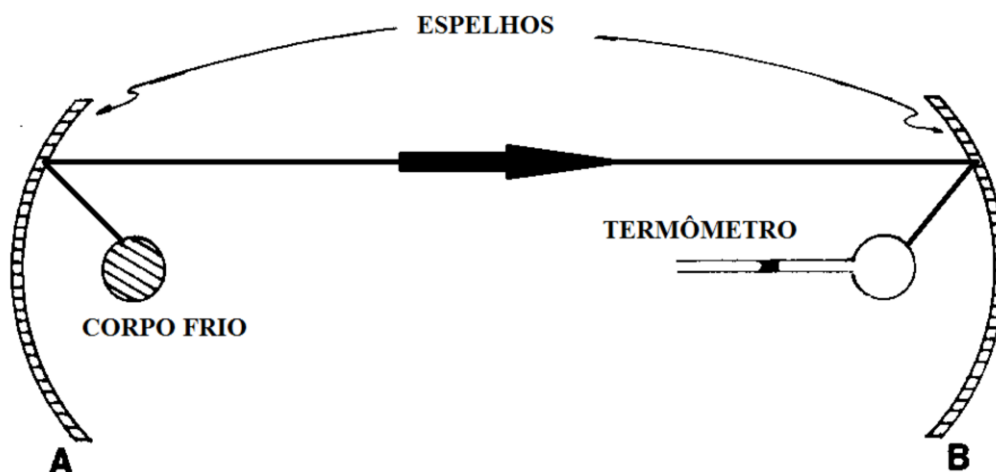


Figura 5: Representação da direção dos raios frigoríficos segundo Rumford.

(Evans & Popp, "Pictet's Experiment," 738).

O resultado desse experimento indicaria a confirmação da hipótese inicial de Rumford, ou seja, o calor radiante teria natureza análoga à do som. O movimento das partículas da fonte fria geraria ondulações no éter em derredor do aparato. Essas emanações se comportariam seguindo as mesmas leis da óptica nos espelhos côncavos

Podemos dizer que a diminuição da temperatura no foco do espelho, revelada pelo termômetro, indicava a concentração dos raios frigoríficos naquele ponto, fortalecendo, assim, a ideia inicial de Rumford.

Contudo, ainda assim, não podemos dizer que Thompson conseguiu confirmar definitivamente sua hipótese. Era necessário ainda realizar outras investigações relativas às propriedades das radiações frigoríficas. Assim, dando continuidade a sua proposta, Rumford elaborou uma série de experimentos que investigavam a radiação do frio.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como pudemos ver, a concepção de calor de Rumford foi elaborada seguindo as evidências que ele observava em cada um de seus experimentos. O trabalho *An Experimental Inquiry Concerning the Source of Heat Which is Excited by Friction* de 1798, resultado de sua empreitada experimental nos arsenais de Munique, deu-lhe indícios de suas primeiras ideias sobre o calor. Essas ideias foram decorrentes das observações das variações de temperaturas geradas pelo atrito entre partes metálicas dos canhões.

Podemos dizer que o experimento do canhão foi de grande importância, pois propiciou Rumford a fazer suas primeiras indagações no que dizia respeito à validade da concepção material do calor.

Assim, anos mais tarde, já em contato com o experimento de Pictet, Rumford realizaria mais um experimento, aquele que dera origem ao trabalho *An Inquiry Concerning the Nature of Heat, and the Mode of its Communication*, publicado em 1804, em que questionaria a validade do calórico. Nesse trabalho, Rumford buscava apresentar uma concepção de calor mais completa e conclusiva, procurando apresentar e validar algumas de suas hipóteses. Como vimos, segundo suas conclusões, o calor radiante seria a manifestação das ondulações no fluido etéreo estimulada pela vibração das partículas constituintes dos corpos.

Além disso, reavaliando os resultados obtidos em seu laboratório, Rumford parece ter confirmado sua hipótese principal, aquela que afirmava ter o frio uma natureza real e capaz de ser detectada experimentalmente. Todavia, isso não significou o fim da concepção de calor compartilhada por seus

contemporâneos. Em outros termos, os resultados decorrentes do experimento da aparente radiação do frio, se por um lado confirmavam as hipóteses de Rumford, por outro não invalidavam a concepção material do calor, o calórico. Com efeito, tal como discurremos, os defensores da ideia do calórico encontraram maneiras de explicar o fenômeno visto por meio da concepção material do calor.

Um mesmo experimento, isto é, um mesmo resultado experimental pode ser explicado por duas diferentes concepções de modo que não é fácil decidir-se por uma ou outra.

Rumford suspeitou que existissem “radiações frigoríficas”, o que não fazia sentido para aqueles estudiosos que aceitavam a concepção material de calor. Com efeito, diferentemente de Pictet, que partiu da hipótese de que o frio não existia, ou seja, que era somente ausência do calor, Rumford considerou entre suas hipóteses que o frio seria apenas uma manifestação do calor radiante.

Podemos concluir que nem sempre o resultado de um experimento é capaz de validar uma hipótese e decidir qual seria a melhor, ou mais próxima da verdadeira. A prática experimental faz parte da metodologia de validação de uma hipótese, contudo, a hipótese a ser avaliada pode determinar o caminho a ser percorrido pelo experimentador, e assim, suas conclusões, tal como pudemos constatar neste estudo.

BIBLIOGRAFIA

- Alfonso-Goldfarb, A.M. *O que é História da Ciência*. São Paulo: Ed. Brasiliense, 1994.
- _____. “Centenário Simão Mathias: Documentos, Métodos e Identidade da História da Ciência.” *Circumscribere* 4 (2008): 5-9
- _____. & Maria H. R. Beltran, orgs. *O Saber Fazer e Seus Muitos Saberes: Experimentos, Experiências e Experimentações*. São Paulo: Editora Livraria da Física; Educ; Fapesp, 2006.
- Alves, Eliade Amanda, & Fumikazu Saito. “O Experimento da Radiação do Frio do Conde Rumford (1753-1815).” *13º Seminário Nacional de História da Ciência e da Tecnologia: Trabalhos Completos* (2012): 1-7, http://www.sbhc.org.br/resources/anais/10/1345079598_ARQUIVO_revAp_resentacao_SNHHC.pdf (acessado em 27 de março de 2013).
- Bacon, Francis. *Novum Organum*. 3a. ed. São Paulo: Abril Cultural, 1984.
- _____. *Nova Atlântida*. São Paulo: Abril Cultural, 1984.
- Brown, G.I. *Scientist, Soldier, Statesman, Spy Count Rumford: The Extraordinary Life of a Scientific Genius*. Stroud: Sutton Publishing, 1999.
- Brown, Sanborn C. “The Caloric Theory of the Heat.” *American Journal of Physics* 18 (1950): 367-373.
- _____. *Count Rumford, physicist extraordinary*. Nova Iorque: Garden City, 1962.
- _____. “Thompson Benjamin,” In: C. C. Gillispie, C.C., org. *Dictionary of Scientific Biography*. 16 vols. Nova Iorque: Charles Scribner’s and Son, 1981.

- Brush, Stephen G. "The wave theory of heat: a forgotten stage in transition from the caloric theory to thermodynamics." *The British Journal for the History of Science* (1970): 145-167.
- Chang, Hasok. "Rumford and Reflection of the Radiant Cold: Historical Reflections and Metaphysical Reflexes." *Physics in Perspective* 4 (2002): 127-169.
- _____. "Preservative and Its Discontents: Revisiting Caloric." *Philosophy of Science* 70 (2003): 902-912.
- Davy, Humphry. *The Collected Works of Sir Humphry Davy*. 9 vols, Ed. John Davy. Londres, 1839.
- Debus, Allen G. *El Hombre y la Naturaleza en el Renacimiento*. México: Fondo de Cultura Económica, 1996.
- _____. "A ciência e as humanidades: a função renovadora da indagação histórica". *Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência* 5 (jan.-jun. 1991): 3-13.
- Descartes, René. *Discurso do Método*. São Paulo: Nova Cultural, 1987.
- Evans, James. & Brian Popp. "Pictet's experiment: The apparent radiation and reflection of cold," *American Journal of Physics* (1985): 737-753.
- Saito, Fumikazu. "Alguns aspectos do empreendimento experimental de Blaise Pascal(1623-1662)." Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2002.
- Hamburger, Jean. org. *A Filosofia das Ciências Hoje*. Trad. Antonio Moreira, Lisboa: Editora Fragmentos, 1988.
- Goldfarb, Stephen J. "Rumford's Theory of Heat: A Reassessment." *British Journal of History of Science* 10 (1977): 25-36.

- Gooding, David, & Trevor Pich, & Simon Shaffer. orgs. *The uses of Experiment: Studies in the Natural Sciences*. Cambridge, New York e Melbourne: Cambridge University Press, 1989.
- Hankin, Thomas L. *Ciência e Iluminismo*. Lisboa: Editora Porto, 2004.
- Jacob, François. *O jogo dos possíveis: ensaios sobre a diversidade do mundo vivo*. Trad. Norberto S. de Almeida, José d' Encarnação e Margarida S. Correia. Lisboa: Gradiva, s.d.
- Jones, Richard Foster. *Ancients and Moderns*. New York, Dover, 1961.
- Meikle, Henry. "On Caloric Radiation." *The Philosophical Magazine and Journal* 53 (1819): 260-262.
- Middleton, W. E. *A History of the Thermometer and Its Use in Meteorology*. Marylan: The Johns Hopkins Press, 1966.
- Mulatti, Edaival. "As Origens da Royal Institution (1799-1806): "ciência útil" e difusão do conhecimento." Dissertação de mestrado, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2008.
- Nussenzweig, H. Moysés. *Curso de Física Básica*, vol2. São Paulo: Blucher, 2002.
- Pictet, Marc-Auguste. *An Essay on Fire*. Trad. W. Belcombe. Londres: E. Jeffery, 1791.
- Psillos, Stathis. "A Philosophical Study of the Transition from the Caloric Theory of Heat to Thermodynamics: Resisting the Pessimistic Meta-Induction." *Studies in the History and Philosophy of Science* 25 (1994): 159-190.
- Schagrin, Morton L. "More Heat than Light. Rumford's experiments on the materiality of light." *Synthese* 99 (1994): 111-121.

- Steinle, Friedrich. "Experiments in History and Philosophy of Science." *Perspectives on Science* 10 (2002): 408-432.
- Thomas, John Meurig. "Rumford's Remarkable Creation." *American Philosophical Society* 4 (1998):597-613.
- _____. "Sir Benjamin Thompson, Count Rumford and the Royal Institution." *Notes and Records of the Royal Society* 53 (1999): 11-25.
- Thompson, Benjamin. "An Experimental Inquiry Concerning the Source of Heat Which is Excited by Friction." *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* (1798): 179- 194.
- _____. "An Inquiry Concerning the Nature of Heat, and the Mode of its Communication." *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* (1804): 77- 182.
- _____. *The Complete Works of Count Rumford*. Vol 1. Cambridge: University Press; Boston: American Academy of Arts and Science, 1870.
- _____. *The Complete Works of Count Rumford*. Vol 2. Cambridge: University Press; Boston: American Academy of Arts and Science, 1873.
- Tipler, Paul A., & Dante Mosca. *Física para Cientistas e Engenheiros: Mecânica, Oscilações e Ondas e Termodinâmica*. . Trad. Paulo Machado Mores. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- Van De Graaff, Robert J. "A 1,500,000 Volt Electrostatic Generator." *Physical Review* 38(1931):1919-1920.
- Waller, Richard. *Essayes of Natural Experments: Made in the Academie del Cimento, under the Protection of the Most Serene Prince Leopold of Tuscany*. 1634. reimpressão fac-similar, New York e London: Johnson Reprint Corporation,1964.

Wagensberg, Jorge. ed. *Proceso al azar: Landsberg, Peter Theodore, G. Ludwig, R. Thom, E. Schartzman, R. Margeft, and Ilya Prigogine: Una convocatoria*. Barcelona: Tusquets, 1986.

Waisse-Priven, Silvia. "No backstage da pesquisa em história da ciência". In: *Centenário Simão Mathias: Documentos, Métodos e Identidade da História da Ciência*. Org. A.M. Alfonso-Goldfarb et al. São Paulo: PUC-SP, 2009, pp. 299-306.

Zaterka, L. *A Filosofia Experimental na Inglaterra do Século XVII: Francis Bacon e Robert Boyle*. São Paulo: Humanitas; FAPESP, 2004.