

## Antoine Lavoisier – Contributos para o conhecimento do metabolismo energético

Maria José Marques Gomes

Cristina Miranda Guedes

### Resumo

*O metabolismo energético constitui-se como uma área fundamental no ensino das Ciências da Nutrição (Animal e Humana). O comum dos cidadãos utiliza o termo “Caloria” e relaciona-o com alimentação e energia. Poucos saberão, no entanto, que para obter a energia a partir dos alimentos, no organismo ocorre uma forma de combustão idêntica à que ocorre numa fogueira! Ambas exigem a presença de O<sub>2</sub>, e geram CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e calor. Hoje dispomos de equipamentos sofisticados para estudar o metabolismo energético, utilizando metodologias de calorimetria direta e indireta. Este conhecimento permite-nos elaborar dietas adequadas a animais e pessoas e programar equipamentos de fitness que informam quantas calorias estamos a “gastar”. Foi a partir da descoberta de Priestley, de que o oxigénio estava envolvido na combustão, que no final do século XVIII, Antoine Lavoisier formulou a hipótese de que “a respiração nos animais é também uma forma de combustão” e que desenvolveu o primeiro calorímetro – o calorímetro de gelo. Com este trabalho pretende-se relembrar os trabalhos pioneiros de Antoine Lavoisier e o seu contributo para o conhecimento do metabolismo energético.*

**Palavras-chave:** Antoine Lavoisier; nutrição; calorimetria; metabolismo

### Abstract

*The study of Nutrition Science necessarily passes through the energy metabolism approach. Common people use the word “Calorie” and associate it with food consumption and energy. Less people will be aware that, to obtain energy from food, a form of combustion similar to that in a fire, takes place in the organism! In both, the process requires the presence of oxygen, and generates CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O and heat. Today we have sophisticated equipment to study the energy metabolism, using direct and indirect calorimetry methodologies. And such knowledge allows us to design appropriate diets for animals and people, and program fitness equipment that tells us how many calories we are “burning”. Using Priestley’s earlier discovery that oxygen is involved in burning, at the end of the eighteenth-century Lavoisier hypothesized that “breathing in animals is also a form of combustion and developed the first calorimeter – the ice calorimeter. This work intends to recall the pioneering work of Antoine Lavoisier and its contribution to the knowledge of energy metabolism.*

**Keywords:** Antoine Lavoisier; nutrition; calorimetry; metabolism

### INTRODUÇÃO

O metabolismo energético constitui-se como uma área fundamental no ensino das Ciências da Nutrição (Humana e Animal e) e tal é a sua importância que até o comum dos cidadãos utiliza o termo “Caloria” e o relaciona com alimentação, saúde e desporto; tem também noção de que a intensidade da atividade física está diretamente relacionada com o “consumo energético” e a produção de calor. É do senso comum que a “ingestão de calorias”, quer em excesso, quer em défice, poderá relacionar-se com a doença, nomeadamente obesidade. Poucos saberão, no entanto, que para obter a energia a partir dos alimentos, no organismo ocorre uma forma de combustão idêntica à que ocorre numa fogueira! Ambas exigem a presença de O<sub>2</sub> e geram CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e calor.

Hoje dispomos de equipamentos sofisticados para estudar o metabolismo energético, que aplicam os princípios da calorimetria, isto é, a medição ou estimativa da dissipação de calor. Estes

estudos permitem-nos elaborar dietas adequadas e entender os distúrbios do metabolismo de animais e pessoas, programar equipamentos de *fitness*, que informam quantas calorias se está a “gastar”. Como se faz esta quantificação e em que princípios fisiológicos se baseia? Foi a partir da descoberta de Priestley, de que o oxigénio estava envolvido na combustão, que no final do século XVIII, Antoine Lavoisier formulou a hipótese de que “a respiração nos animais é também uma forma de combustão” e que desenvolveu em colaboração com Laplace, o primeiro calorímetro – o calorímetro de gelo. Com este trabalho pretende-se relembrar a importância dos trabalhos pioneiros de Antoine Lavoisier e seus colaboradores para a evolução do conhecimento do metabolismo energético.

### **BREVE NOTA BIOGRÁFICA DE ANTOINE LAURENT LAVOISIER (1743-1794)**

Antoine Laurent Lavoisier nasceu a 27 de agosto de 1743 em Paris. O pai era advogado e ocupava o cargo de procurador do Parlamento parisiense (o tribunal mais importante de França); a mãe, também nascida no seio de reputada família de juristas, morreu quando Lavoisier tinha 5 anos<sup>1</sup>, tornando-o herdeiro de avultada fortuna<sup>2</sup>. Graças à sua condição social, Lavoisier teve acesso a uma excelente educação no Collège Mazarin, que frequentou durante 9 anos, prosseguindo os estudos, a partir de 1761, na Faculdade de Direito da Sorbonne, onde obtem o grau de Bacharel<sup>3</sup>. No entanto, o seu interesse eclético, impeliu-o a frequentar, em simultâneo, aulas sobre diversas áreas da Ciência. Com apenas 25 anos, Lavoisier já tinha desenvolvido trabalho científico de relevância, nomeadamente um ensaio sobre a iluminação de Paris, o que lhe permitiu ser eleito membro da Academia Francesa de Ciências<sup>4</sup>. Em 1771 casa com Marie Anne Pierrette Paulze (1758-1830), a qual virá a ter um papel muito importante na sua atividade de investigação (torna-se sua assistente, estuda latim e inglês e traduz obras científicas, permitindo a Lavoisier estar a par dos trabalhos de outros cientistas, que vêm a ser fundamentais para o desenvolvimento do seu próprio trabalho). Marie Anne tem aulas de pintura, podendo assim ilustrar as obras do marido e registar as experiências e equipamentos por ele utilizados e que chegaram aos nossos dias. Em 1775, Lavoisier é nomeado inspetor das pólvoras e salitres e até 1792, o casal passa a residir no “Arsenal”, onde Lavoisier conduz as experiências no laboratório que aí instala, enquanto gere os *stocks* da pólvora necessária às tropas Francesas<sup>5</sup>. Em 1779, associa-se à Fermé Generale, empresa privada que cobrava da população impostos em nome do governo - parte dos

---

<sup>1</sup> Rómulo, G. Badillo et al., "Del modelo científico del flogisto al modelo de la oxidación. El concepto de frontera", *Educación química* 26 (3, 2015): 242-249.

<sup>2</sup> T. E. Thorpe, "LAVOISIER", *The Contemporary review, 1866-1900* (58, 1890): 891-906.

<sup>3</sup> Arthur, Donovan, "Antoine Lavoisier: Science, administration and revolution" Vol. 5. (Cambridge: Cambridge University Press, 1996).

<sup>4</sup> Underwood, E. Ashworth, "Lavoisier and the history of respiration" (1944): 247-262.

<sup>5</sup> Ibid.

impostos era entregue ao Rei, ficando a restante para os associados da empresa. Lavoisier demonstrou ser um administrador competente e hábil homem de negócios, permanecendo 20 anos na *Fermé Generale*, tendo aí ascendido ao mais alto cargo. Apesar destas e de outras exigentes funções, Lavoisier conseguia dedicar 6 horas por dia aos seus trabalhos de investigação<sup>6</sup>. Os seus rendimentos na *Fermé Generale* permitiam-lhe financiar os seus trabalhos científicos.

Para além da Ciência, Lavoisier teve múltiplos interesses, nomeadamente política e agricultura. Fazendo parte do Comité de Agricultura a partir de 1785, dedica-se ao estudo dos problemas de economia e da química agrícolas e, em 1789, é eleito deputado suplente aos Estados Gerais, integrando, no ano seguinte, a comissão para o estabelecimento do novo sistema de medidas.

Da enorme atividade de investigação desenvolvida por Antoine Lavoisier refira-se 1) a sua contribuição para a identificação de elementos químicos e desenvolvimento da nomenclatura moderna na química (e.g. oxigénio, hidrogénio), 2) pela distinção que estabeleceu entre elementos químicos e compostos (e.g. água, que era considerada um elemento, e que Lavoisier demonstrou ser um composto químico constituído por dois elementos, combinados em proporções fixas); 3) pela clarificação do envolvimento do oxigénio na oxidação de metais e combustão de materiais orgânicos e 4) pela rutura com a teoria do flogístico e proposta da teoria da oxidação (a desenvolver adiante).

Os seus trabalhos pioneiros na área do metabolismo energético e que constituíram a base das Ciências Modernas da Nutrição, serão porventura menos conhecidos. Lavoisier encontra-se entre os primeiros que relacionaram a química com a fisiologia, explorando ideias sobre o metabolismo e a respiração e a sua relação com o alimento<sup>7</sup>. Infelizmente, o seu trabalho nesta área não foi plenamente desenvolvido nem publicado. Com a revolução a ganhar força, os membros da “*Ferme Générale*”, vistos como representantes dos privilégios da nobreza, acabaram por ser presos e acusados de peculato – Lavoisier é executado na guilhotina a 8 de maio de 1794<sup>8</sup>.

## O METABOLISMO ENERGÉTICO E AS CIÊNCIAS DA NUTRIÇÃO

Para melhor entender a importância do trabalho de Lavoisier na Área das Ciências da Nutrição, importa perceber o significado do metabolismo energético e a sua relação com a produção de calor e determinação das necessidades energéticas dos animais (termo abrangente que inclui o Homem).

Quando um animal não realiza qualquer trabalho físico (isto é, quando se encontra em repouso), quando não está a produzir novos tecidos (e.g. músculo) ou produtos (e.g. leite), e se encontra a uma temperatura ambiente dentro da zona de conforto térmico, então toda a energia química utilizada

---

<sup>6</sup> Underwood, E. Ashworth.

<sup>7</sup> Frankenfield, David C., "On heat, respiration, and calorimetry", *Nutrition* 26 (10, 2010): 939-950.

<sup>8</sup> Underwood, E. Ashworth.

nas várias funções metabólicas é transformada em calor. De acordo com a lei estabelecida em 1840 por Hess, toda a energia libertada aquando da utilização metabólica de um combustível é sempre a mesma, independentemente das vias metabólicas, das reações químicas e natureza dos compostos químicos intermediários<sup>9</sup>. Portanto, o calor medido nestas condições corresponde à energia necessária para suportar as funções vitais. Quando definida por unidade de tempo, determinamos a *taxa metabólica*. Durante a atividade física, a produção de calor aumenta, estando diretamente relacionada com o volume de massa muscular envolvida e com a intensidade do trabalho muscular. Também quando a temperatura ambiente, está abaixo da zona de conforto térmico do animal, este terá de produzir mais calor, para que possa manter a sua temperatura corporal constante. No caso dos animais de interesse zootécnico, o nível produtivo também está relacionado com a produção de calor, já que a transformação dos nutrientes absorvidos em tecidos (por exemplo, num animal em crescimento) ou secreções (como o leite) gera uma quantidade extra de calor, resultante da ineficiência energética dos processos metabólicos. O mesmo se passa com o Ser Humano, na fase de crescimento. A quantificação deste calor é essencial para quantificar as necessidades energéticas de animais e do Homem.

Como referido por Mendelshon em 1964, já entre os primeiros filósofos (Platão, Aristóteles, Hipócrates, entre outros) se reconhecia que o calor corporal indicava a existência de um “calor inato” que suportava a vida<sup>10</sup>. Hoje sabemos que todos os processos metabólicos que ocorrem num qualquer organismo produzem calor e que cada ser vivo é um sistema aberto que constantemente troca calor com o meio ambiente circundante e que a produção de calor ocorre devido ao metabolismo celular (bioenergética) e ao trabalho celular (Figura 1). A combustão celular necessita de oxigénio, ocorrendo a produção de dióxido de carbono.

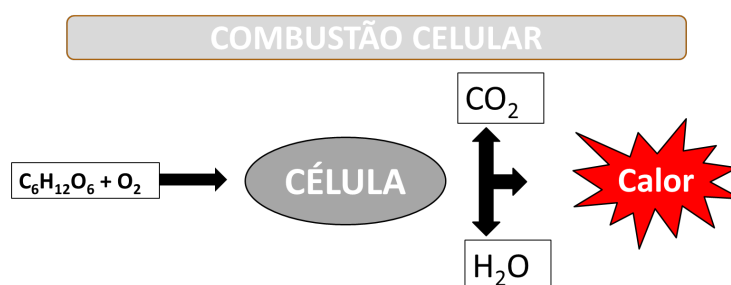


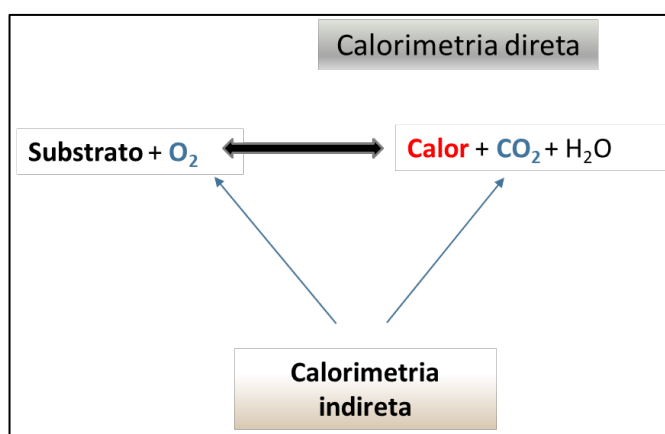
Figura 1: A combustão de nutrientes (neste caso, de glucose) e seus produtos finais.

<sup>9</sup> Eckert, Roger, et al., *Animal physiology: mechanisms and adaptations*. No. ed. 3. (WH Freeman & Co., 1988).

<sup>10</sup> Kaiyala, Karl J., & Douglas S. Ramsay, "Direct animal calorimetry, the underused gold standard for quantifying the fire of life", *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* 158 (3, 2011): 252-264.

O equipamento para medir o calor produzido pelo animal designa-se por *calorímetro* - termo este que deriva do latim *calor* (calor) e do grego *metrion* (medir) - e o método de medição por *calorimetria direta*.

Muito do conhecimento atual sobre o metabolismo energético foi obtido pela aplicação deste método. Embora permaneça como técnica *gold standard* para quantificar o calor produzido, a calorimetria direta foi sendo substituída por técnicas de calorimetria indireta (Figura 2), particularmente pela aplicação da metodologia das trocas gasosas, isto é, pela quantificação do consumo de  $O_2$  ( $VO_2$ ), necessário à combustão, e da produção de  $CO_2$  daí resultante ( $VCO_2$ ).



**Figura 2: Calorimetria direta vs. calorimetria indireta. Enquanto a calorimetria direta mede o calor produzido que resulta das reações biológicas, a calorimetria indireta mede o consumo de  $O_2$  e a produção de  $CO_2$  que resulta dessas reações.**

A calorimetria indireta é atualmente a técnica mais amplamente utilizada, tendo contribuído nos últimos dois séculos para os avanços no conhecimento e compreensão da nutrição e bioenergética, termogênese, metabolismo energético durante o exercício físico e a patologia de doenças metabólicas, entre outras. Comparativamente às técnicas de calorimetria direta, as técnicas de calorimetria indireta são mais simples, fáceis de executar e relativamente baratas, não surpreendendo por isso que atualmente quase não se utilizem técnicas de calorimetria direta<sup>11</sup>

Pela calorimetria indireta, a produção de calor pode ser estimada a partir da medição do  $VO_2$  e do  $VCO_2$ , uma vez que a cada substrato corresponde uma estequiometria específica e, tratando-se de uma oxidação aeróbica, a quantidade de calor produzida está relacionada com o  $VO_2$ . Por sua vez, o  $VO_2$  e a combustão de um determinado substrato estão relacionados com o  $VCO_2$ ; assim, o quociente entre o  $VCO_2$  e o  $VO_2$  varia com o tipo de substrato oxidado (Figura 3).

<sup>11</sup> Kaiyala, Karl J. & Douglas S. Ramsay; Kenny, Glen P., et al., "Direct calorimetry: a brief historical review of its use in the study of human metabolism and thermoregulation", *European journal of applied physiology* 117 (9, 2017): 1765-1785.

<b>Cada substrato tem uma estequiometria específica!</b>		
$C_6H_{12}O_6 + 6O_2$	$6H_2O + 6CO_2 +$	Energia (calor)
180 g	134,4 L	134,4 L 678 cal
<b>Neste caso, <math>CR = VCO_2/VO_2 = 134,4/134,4=1</math></b>		
<b>Substrato</b>	<b>Kcal/LO<sub>2</sub></b>	<b>CR (VO<sub>2</sub>/VCO<sub>2</sub>)</b>
Glúcidos	5,05	1,0
Gorduras	4,46	0,7
Proteínas	4,74	0,8

**Figura 3: Quociente respiratório (CR) e calor produzido por litro de O<sub>2</sub> consumido em função da natureza do substrato.**

Considerando que os aspetos mais técnicos das metodologias de calorimetria não se enquadram no âmbito deste trabalho, remetemos para a leitura de excelentes revisões publicadas sobre esta matéria.<sup>12</sup>

### **Antoine Lavoisier e o estudo do metabolismo energético**

O interesse pelo metabolismo energético, quer do Homem quer dos animais, terá sido inicialmente impulsionado pelo interesse científico puro em relação à biologia, que posteriormente se alargou à sua relação com a doença, ao interesse no desempenho militar, desempenho desportivo, e eficiência alimentar nos animais de interesse zootécnico<sup>13</sup>. Mais recentemente acresce de forma bem notória o interesse comercial, associado à multiplicidade de produtos que a indústria alimentar e farmacêutica disponibilizam no mercado, promovendo dietas e estilos de vida alegadamente saudáveis. Em grande parte, também o crescimento exponencial de doenças associadas à alimentação, nomeadamente a obesidade e a diabetes e concomitante interesse em perceber o papel que a variação no gasto de energia desempenha na obesidade, tem sido uma força motriz para o estudo do metabolismo energético Humano<sup>14</sup>. No que aos animais respeita, melhorar a eficiência dos processos produtivos dos animais de interesse zootécnico e a melhor caracterização das necessidades alimentares de animais de companhia dependem, entre outras vertentes do conhecimento, do estudo do metabolismo energético.

<sup>12</sup> McLean, J. A. "Animal and human calorimetry. Cambridge University Press." Cambridge 108 (1987): 274-281; Kaiyala, Karl J., & Douglas S. Ramsay; Archiza, Bruno, et al., "Classical experiments in whole-body metabolism: closed-circuit respirometry." *European journal of applied physiology* 117 (10, 2017): 1929-1937; Mtaweh, Haifa, et al., "Indirect Calorimetry: History, Technology, and Application", *Frontiers in pediatrics* (6, 2018): 257; Kenny, Glen P., et al.

<sup>13</sup> McLean, J. A.

<sup>14</sup> *Ibid.*, 6.

Mas, qual a relação do trabalho de Antoine Lavoisier com tudo isto? De acordo com Blaxter, é a Lavoisier em colaboração com Simone Laplace (1749-1827) a quem devemos o início dos estudos que abordaram a **relação entre o metabolismo e a produção de calor**, pese embora alguns reconhecerem Adair Crawford (Escócia) como o primeiro a medir a produção de calor de um animal<sup>15</sup>. Lavoisier e Laplace conceberam um calorímetro de gelo, que permitiu observar que o calor produzido por uma cobaia resultava da combustão de fontes de carbono (a descrever adiante). Só muito mais tarde foi construído o primeiro calorímetro para humanos - o calorímetro Atwater–Rosa<sup>16</sup> que marcou o início de mais de 200 anos de estudo no metabolismo humano. O calorímetro Atwater–Rosa, também conhecido por calorímetro de respiração, tinha a particularidade de, além de medir o calor produzido, também medir as trocas gasosas entre um organismo vivo e a atmosfera circundante (calorimetria indireta).

À época de Antoine Lavoisier, a teoria do flogístico era amplamente aceite para explicar a combustão e a respiração pulmonar. Esta teoria, que foi desenvolvida pelo químico alemão Georg Ernst Stahl (1660-1734) a partir do “princípio da inflamabilidade” concebido por Johann Joachim Becher (1635-1682), considerava que toda a substância combustível possuía um constituinte invisível (o *flogístico*, palavra derivada do grego *phlogistos*, que significa “queimando”): *“Toda a substância combustível contém o flogístico. Esta substância liberta-se durante a combustão, respiração ou calcinação e é absorvida no processo inverso. Esta “matéria do fogo” é emitida na forma de chama e calor. Corpos combustíveis são, portanto inerentemente constituídos por esta substância e uma considerável quantidade de terra”*<sup>17</sup>. Portanto, a calcinação e combustão, ao libertar o *flogístico*, implicariam sempre uma perda de massa.

A descoberta dos gases além do ar, ignorados até à segunda metade do século XVIII, mudou o entendimento da Química, fornecendo uma enorme e inesperada quantidade de dados. Joseph Black (1728-1799), na Escócia, identifica no ar expirado o “*ar fixo*” (que mais tarde Lavoisier designará por dióxido de carbono; Henry Cavendish (1731-1810), em Inglaterra, descobre e isola o “*ar inflamável*” (que Lavoisier vai designar por hidrogénio) e Joseph Priestley (1733-1804), também em Inglaterra, isola o “*ar desflogisticado*” (que Lavoisier designará por oxigénio).

Conhecedor destes trabalhos, a partir de 1772, Lavoisier realiza experiências sobre a calcinação de substâncias, procedendo a uma pesagem rigorosa nas suas balanças de elevada precisão, e observa que, dessas reações, resultavam sempre óxidos cujo peso era maior que o das substâncias

---

<sup>15</sup> Blaxter, K. L., "Adair Crawford and calorimetry", *Proceedings of the Nutrition Society* 37 (1, 1978): 1-3; Atwater, W. O., & Rosa, E. B. (1899), Description of a new respiration calorimeter and experiments on the conservation of energy in the human body. Government Printing Office, Washington Google Scholar; Lewowicz, Lucía, "Phlogiston, Lavoisier and the purloined referent", *Studies In History and Philosophy of Science Part A* 42 (3, 2011): 436-444.

<sup>16</sup> Atwater, W. O., & Rosa, E. B. (1899)

<sup>17</sup> Lewowicz, Lucía.

originalmente usadas e que este ganho correspondia à perda de peso do ar – tais observações conduzem Lavoisier a questionar a teoria do flogístico, uma vez que se observava aumento e não diminuição de peso. Nas experiências que se seguiram, dada a consistência das observações, deduz que a combustão e a calcinação nada mais eram que o resultado da combinação do gás (oxigênio) com as outras substâncias e que o peso aumentado dos compostos resultantes da calcinação correspondia à soma do peso da substância inicialmente utilizada, com a do gás a ela incorporado através da reação. Lavoisier trabalha nos 15 anos seguintes em combustão, obtendo resultados que contrariam a teoria do flogístico. É também destas experiências que estabelece a muito conhecida Lei da Conservação de Massas.

A relação entre a combustão e respiração já era há muito reconhecida, assim como o papel essencial que o ar desempenhava em ambos os processos. Portanto, Lavoisier ter-se-á sentido impelido a alargar a sua teoria da combustão à área da fisiologia da respiração.

Em 1777, Lavoisier apresenta na Academia de Ciências a teoria da respiração, intitulada “*Expériences sur la respiration des animaux, et sur les changements qui arrivent à l'air n passant par le poumon*”<sup>18</sup>, segundo a qual o oxigênio é inspirado para os pulmões, reage com o carbono do sangue para produzir CO<sub>2</sub>, sendo o calor libertado diretamente do oxigênio. Segundo esta teoria, o calor seria depois espalhado pelo corpo – Lavoisier pensava que o calor era um elemento, o *calórico* - só em 1837 se perceberá que há trocas gasosas entre o sangue e os pulmões e Gustav Magnus na Alemanha “muda” a produção de calor para os capilares.

No inverno de 1782/83, será conduzido um trabalho que se constituirá como o primeiro alguma vez realizado na tentativa de relacionar a combustão com o metabolismo no organismo animal. Neste trabalho, Lavoisier e o físico, matemático e astrónomo Simone Laplace (1749–1827), procedem à medição da quantidade de dióxido de carbono e de calor produzido pela queima de carvão e pelo confinamento de uma cobaia (Figura 4).

Para a medição da produção de calor, concebem o calorímetro de gelo, que consistia num pequeno contentor, com três câmaras, e que permitia envolver em gelo a câmara interior, onde era colocada a cobaia ou o material sujeito à combustão. Por fora desta camada de gelo, era colocada uma segunda camada de neve, que garantia isolamento térmico – o gelo derretia devido ao calor produzido na câmara interior e não devido à temperatura ambiente exterior ao calorímetro. Estas experiências só podiam ser realizadas no inverno, de modo a prevenir a penetração do calor a partir do exterior e tiveram a duração de 10 h. O calor produzido era calculado em função da massa de gelo derretido e o calor específico da fusão do gelo:

---

<sup>18</sup> West, John B., "The collaboration of Antoine and Marie-Anne Lavoisier and the first measurements of human oxygen consumption", *American journal of physiology-lung cellular and molecular physiology* 305 (11, 2013): L775-L785.



$$Q = \Delta m \times c_f$$

Onde,

**Q** – calor produzido

**$\Delta m$**  – massa de gelo derretido

**$c_f$**  - calor específico da fusão do gelo

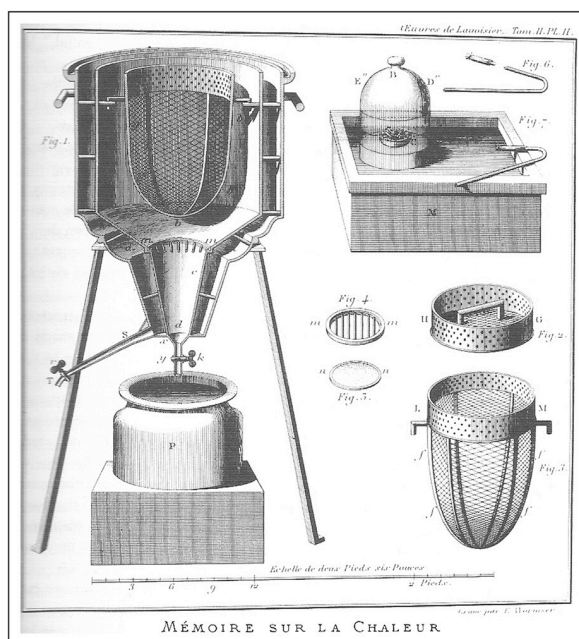


Figura 4: O calorímetro de gelo de Lavoisier (desenho da autoria de Anne Marie Lavoisier, em “Mémoires sur la Chaleur”)<sup>19</sup>

Segundo Schoffelen<sup>20</sup>, o desenho do calorímetro de gelo já era altamente preciso, assim como elegante, atingindo quase a perfeição em termos de isolamento adiabático e a conversão do calor interno numa quantidade de gelo derretido. Este gelo era completamente recuperado e medido de forma muito precisa, correspondendo ao calor produzido dentro do espaço interno do calorímetro. A medição do calor por esta via permite-nos considerar que esta metodologia corresponde ao que hoje conhecemos por calorimetria direta. Utilizando regras da física já estabelecidas, permitia determinar todo o calor produzido de uma forma direta.

A produção de dióxido de carbono era realizada num equipamento que está também na base do que hoje consideramos calorimetria indireta, e que se encontra representado no topo superior direito da Figura 4 - uma campânula de vidro invertida num banho de mercúrio (uma inovação de Priestley, que

<sup>19</sup> A. L. Lavoisier, & P. S. Laplace, Mémoires sur le Chaleur (1783). <https://archive.org/details/mmoiressurlacha00rumfgoog>.

<sup>20</sup> Schoffelen, Paul Franciscus Maria, *Measurement of human energy expenditure: biological variability and technical validity* ((Maastricht University, 2017)

observou que o dióxido de carbono não se dissolve em mercúrio, ao contrário do que se observa com água). Lavoisier e Laplace converteram esta câmara de circuito fechado numa câmara de circuito aberto, inserindo tubos na campânula, por forma a introduzir ar fresco e extrair o ar exalado para garrafas contendo um *alcali* para absorver o dióxido de carbono. O aumento do peso das garrafas permitia medir o peso do dióxido de carbono produzido<sup>21</sup>. Medindo a produção de calor e o dióxido de carbono produzido pela combustão de carvão, puderam estimar a quantidade de calor por unidade de dióxido de carbono produzido. Perante a observação de que a produção de calor estimada por calorimetria indireta (isto é, calculada a partir da produção de dióxido de carbono) era muito próxima do calor medido por calorimetria direta, Lavoisier e Laplace concluem que *“La respiration n`est qu`une combustion lente de carbone et d`hydrogène, qui est semblable en tout à celle qui s`opère dans une lampe ou dans une bougie allumée, et que, sous ce point de vue, les animaux qui respirent sont de véritables corps combustibles qui brûlent et se consomment”*.<sup>22</sup>

Estas experiências, sendo notáveis à época, não permitiam identificar onde era o calor produzido. Lavoisier concluiu que ocorria nos pulmões, permitindo que o animal vivo mantivesse a sua temperatura corporal acima da temperatura ambiente, explicando assim, à altura, o enigmático fenómeno do calor animal.

Lavoisier está convencido que estabeleceu a ligação entre a produção de calor e as trocas gasosas no organismo<sup>23</sup> e interroga-se sobre a possibilidade de medir o oxigénio consumido durante a respiração. O primeiro ensaio com medidas do consumo de oxigénio pelo Homem foi realizado recorrendo a técnicas de calorimetria indireta. Conta com a colaboração de um voluntário, o jovem químico Armand Séguin (1764-1835). Durante as experiências que tiveram lugar em 1789-1790, Séguin respirava oxigénio através de um tubo ligado a uma máscara e Lavoisier media a quantidade de gás utilizada, a velocidade da sua respiração e o seu pulso ao fim de 1 h (Figura 5). Lavoisier verificou que a quantidade de O<sub>2</sub> consumida por Seguin dependia da sua atividade: era maior quando estava a fazer exercício do que quando estava em repouso; aumentava depois de uma refeição do que quando estava em jejum, e quando estava sentado numa sala fria do que numa sala quente. Nestas experiências, Lavoisier verificou que a pulsação e a taxa respiratória variavam 2 a 3 vezes<sup>24</sup>. Estes trabalhos viriam a influenciar o estudo da fisiologia respiratória (e, portanto, do metabolismo) levado a cabo por muitas gerações de cientistas que se seguiram.<sup>25</sup>

---

<sup>21</sup> Frankenfield, David C.

<sup>22</sup> Lavoisier, A. L. & Laplace, P. S.

<sup>23</sup> Holmes, Frederic Lawrence. Lavoisier and the chemistry of life: An exploration of scientific creativity. No. 4. (Univ of Wisconsin Press, 1985)

<sup>24</sup> Ibid., 10.

<sup>25</sup> Archiza, Bruno, et al.



Figura 5: Representação dos estudos com Seguin. Exposição sobre Lavoisier<sup>26</sup>.

Antes da sua morte em 1794, Lavoisier terá ainda iniciado os seus trabalhos na tentativa de clarificar de que forma o corpo convertia o alimento em tecidos. Foi um dos primeiros cientistas a projetar equipamentos de laboratório para testar o que acontece com o alimento depois de ingerido. Antes do seu trabalho, os cientistas sabiam que o peso dos alimentos ingeridos excedia o peso das fezes e urina excretadas. Esta perda de peso era atribuída à transpiração.<sup>27</sup>

Mas Lavoisier acreditava que o alimento era um combustível e que o corpo, como os motores de queima de combustível que estavam a ser desenvolvidos na época, devia expulsar o dióxido de carbono como um produto de combustão.

Lavoisier alicerçou todo o trabalho que se realizou nos últimos 200 anos para esclarecer o papel dos alimentos no corpo dos animais (e do Homem). Lavoisier é seguramente merecedor do seu reconhecimento como o pai da Nutrição.

### **SOBRE OS AUTORES:**

Maria José Gomes

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Escola Ciências Agrárias e Veterinárias, Portugal  
[mjmg@utad.pt](mailto:mjmg@utad.pt)

Cristina Miranda Guedes

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Escola Ciências Agrárias e Veterinárias, Portugal  
[cguedes@utad.pt](mailto:cguedes@utad.pt)

<sup>26</sup> <https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co115660/diorama-showing-lavoisier-carrying-out-an-experiment-in-paris-in-1789-england-1945-1960-diorama>

<sup>27</sup> Holmes, Frederic Lawrence.