

Este arquivo contém o texto completo do seguinte trabalho:

MARTINS, Roberto de Andrade. A teoria aristotélica da respiração. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* [série 2] 2 (2): 165-212, 1990.

Este arquivo foi copiado da biblioteca eletrônica do Grupo de História e Teoria da Ciência <<http://www.ifi.unicamp.br/~ghtc/>> da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), do seguinte endereço eletrônico (URL):

<<http://ghtc.ifi.unicamp.br/pdf/ram-39.pdf>>

Esta cópia eletrônica do trabalho acima mencionado está sendo fornecida para uso individual, para fins de pesquisa. É proibida a reprodução e fornecimento de cópias a outras pessoas. Os direitos autorais permanecem sob propriedade dos autores e das editoras das publicações originais.

This file contains the full text of the following paper:

MARTINS, Roberto de Andrade. A teoria aristotélica da respiração. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* [série 2] 2 (2): 165-212, 1990.

This file was downloaded from the electronic library of the Group of History and Theory of Science <<http://www.ifi.unicamp.br/~ghtc/>> of the State University of Campinas (UNICAMP), Brazil, from following electronic address (URL):

<<http://ghtc.ifi.unicamp.br/pdf/ram-39.pdf>>

This electronic copy of the aforementioned work is hereby provided for exclusive individual research use. The reproduction and forwarding of copies to third parties is hereby forbidden. Copyright of this work belongs to the authors and publishers of the original publication.

CDD: 574.1201

185

A TEORIA ARISTOTÉLICA DA RESPIRAÇÃO

ROBERTO DE ANDRADE MARTINS

*Instituto de Física "Gleb Wataghin" e
Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência
Universidade Estadual de Campinas
Caixa Postal 6059
13081 Campinas, São Paulo, SP, Brasil*

Resumo: Em seus tratados biológicos, Aristóteles estuda o processo da respiração no homem e nos animais, concluindo que se trata de um fenômeno de refrigeração, destinado a controlar o calor vital inato dos seres vivos. Ele analisa como se processaria esse fenômeno de refrigeração, em várias classes de animais, desenvolvendo observações, dissecações anatômicas e experimentos com animais. Proporciona um sistema teórico coerente, bem fundamentado sob o ponto de vista empírico e sistemático. Este artigo descreve essa contribuição de Aristóteles e discute os seus aspectos metodológicos, visando mostrar que a metodologia seguida por ele em seus estudos biológicos é essencialmente igual à da ciência moderna.

Palavras-chave: Aristóteles; respiração; fisiologia; história; ciência grega.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com os textos peripatéticos que foram conservados, Aristóteles dedicou muito mais esforço e tempo aos estudos biológicos do que à física e à astronomia. No entanto, os historiadores da ciência têm dedicado relativamente pouco trabalho ao estudo da biologia aristotélica. Existem, é verdade, alguns estudos gerais sobre suas investigações zoológicas, mas poucos trabalhos mais profundos e detalhados.

O objetivo deste artigo é estudar a metodologia aplicada por Aristóteles a seus estudos fisiológicos, tomando como exemplo suas investigações a respeito da respiração.

O artigo fornecerá, em primeiro lugar (seção 2), uma visão geral da obra biológica de Aristóteles e das fontes utilizadas neste trabalho; em seguida, será descrita a metodologia geral apresentada por Aristóteles para seus estudos fisiológicos; em terceiro lugar, serão descritas as idéias de Aristóteles sobre a res-

piração, os pulmões e outros assuntos associados, partindo das idéias mais gerais (seção 4) e chegando a detalhes e à sistematização das idéias (seção 6). Será apresentado um rápido esboço dos precedentes históricos e da história posterior da teoria aristotélica da respiração (seção 5). A contribuição de Aristóteles será analisada sob o ponto de vista metodológico, indicando-se os aspectos positivos de seu trabalho e as lacunas deixadas pela exposição de sua pesquisa (seção 7). A última seção do artigo contém as conclusões e comentários finais.

2 A OBRA BIOLÓGICA DE ARISTÓTELES

Os livros de Aristóteles (considerados autênticos) que chegaram até nós, dedicados a temas biológicos, são muitos. A maior dessas obras é conhecida pelo nome latino "Historia animalium" (em dez livros, dos quais um não é considerado autêntico), que classifica e descreve as características de todos os gêneros de animais, sem se dedicar muito à explicação das causas dessas características. O tratado "De partibus animalium" (em quatro livros) é, essencialmente, uma obra dedicada à fisiologia, onde são descritas as estruturas, fenômenos e funções das diferentes "partes" dos animais (tecidos, órgãos, etc.). No "De generatione animalium" (em cinco livros) ele descreve tanto os hábitos de procriação quanto os processos embriológicos dos animais. Dois curtos tratados ("De motu animalium" e "De incessu animalium" – cada um com um único livro) tratam da locomoção dos animais e da relação entre seus movimentos e fenômenos químicos. O tratado "De anima" (em três livros) trata sobre as funções e características da alma de vários tipos de seres vivos. Por fim, há um grupo de pequenos estudos ("Parva naturalia") que falam de temas específicos: sono e vigília, juventude e velhice, etc. Um deles é especificamente dedicado à respiração ("De respiratione"). Não deve ser confundido com a obra apócrifa sobre o alento ("De spiritu").

Todo esse conjunto forma um impressionante sistema de estudos biológicos. Impressionante em muitos sentidos: por um lado, pela enorme quantidade de *factos* descritos nesses livros – o que pressupõe um trabalho imenso de observação de animais vivos, dissecação e experiências; por outro lado, pela sistematização e clareza de exposição – muitas classificações, termos, distinções, características, etc. utilizados por Aristóteles são iguais aos usados hoje; em terceiro lugar, Aristóteles refletiu sobre esses dados e formulou uma teoria ampla, que procura explicar, de modo unificado e sistemático, desde os menores detalhes dos animais até seus fenômenos mais complexos. O trabalho, em seu conjunto, é ciclópico. É praticamente impossível que tenha sido realizado por um único indivíduo isoladamente. Mas a maior parte das observações deve ter sido realizada, se não por Aristóteles, pelo menos a seu pedido e sob sua supervisão e orientação.

Muito se tem discutido sobre a época em que Aristóteles escreveu sua obra biológica. Plínio, o velho, foi o responsável pelo boato de que apenas na velhice Aristóteles se dedicou a esses estudos, utilizando espécimens que Alexandre lhe enviava de suas expedições (PLINUS, *Natural history*, livro 8, cap. 17). Porém, é mais aceitável a posição de D'Arcy Thompson que, através da análise dos locais geográficos e da fauna descrita por Aristóteles em seus tratados, mostra a presença marcante da ilha de Lesbos (antiga região de Mitylene), concluindo que essas obras devem ser principalmente o resultado de estudos desenvolvidos durante o período em que lá viveu, antes de se dedicar à educação de Alexandre, na Macedônia, em torno dos 40 anos de idade, aproximadamente entre 344 e 342 a.C. (ver THOMPSON 1913, p. 10).

Ao contrário do que ocorreu na física e na astronomia, o Renascimento não produziu uma revolução biológica. É verdade que William Harvey descobriu a circulação do sangue e corrigiu alguns erros de Aristóteles com relação aos processos de reprodução; mas esses avanços foram e devem ser vistos como o aperfeiçoamento e não como uma derrubada da biologia aristotélica.

Deve-se notar que as obras biológicas de Aristóteles despertaram, nos séculos XII e XIII, grande atenção, estando certamente entre os livros aristotélicos condenados na Universidade de Paris em 1210 (ver BIRKENMAJER 1930; LUQUET 1904, p. 22). Nos séculos XV e XVI, são escritos e publicados vários comentários sobre os "Parva naturalia": Averrois, Thomas de Aquino, Nicolaus Thomaeo, Genesio Sepulveda, Augustinus Niphi, além do comentário do Colégio de Coimbra (ver SCHWAB 1896, p. 166). Mesmo quando, no século XVII, inicia-se a crítica sistemática a Aristóteles, as suas obras biológicas escapam a essa sorte. Em 1913, D'Arcy Thompson afirmava:

Ele foi, e é, um grande naturalista. Quando trata sobre História Natural, sua linguagem é nossa linguagem e seus métodos e problemas são quase idênticos aos nossos (THOMPSON 1913, p. 14).

É claro que Thompson deveria ter dito:

Quando tratamos sobre História Natural, é sua linguagem que usamos; nossos métodos e problemas foram, quase todos, herdados dele.

Para se perceber o peso deste trabalho de Aristóteles, basta estudar detalhadamente qualquer uma de suas partes. O tema aqui escolhido - a respiração - é apenas um aspecto ilustrativo. Não se trata de um dos grandes triunfos de

daquela maneira tendo em vista seu fim (o reestabelecimento da saúde, ou uma casa). A causa final está ainda mais presente nas obras da Natureza do que nas artes humanas. Nelas, o papel da necessidade é menor. Nos estudos da natureza, começa-se com aquilo que virá a ser (o resultado ou fim) e se justifica aquilo que o antecede no tempo como um meio para o fim – enquanto, nas ciências teóricas, parte-se daquilo que existe e se determina outra coisa que deve existir no presente ou no futuro. Aquilo que é necessário para um fim é necessário condicionalmente (ARISTÓTELES, *Partes dos animais*, 639b 12-27).

Aristóteles utiliza um exemplo para ilustrar essa idéia (*Partes dos animais*, 642a 10-12). Suponhamos que se queira um instrumento (um machado) para cortar madeira. Para que ele possa cortar madeira, ele deve, necessariamente (necessidade condicional), ser duro; para ser duro, ele deve, necessariamente, ser feito de bronze, ferro, etc. Da mesma forma, o organismo vivo é um instrumento.

Tanto o corpo todo quanto cada uma de suas partes tem um propósito, para o qual existe; o corpo deve portanto, necessariamente, ser assim e assim, e feito de tais e tais materiais, se aquele propósito deve ser atingido (ARISTÓTELES, *Partes dos animais*, 642a 12-14).

E, mais adiante, Aristóteles diz:

Aqui está um exemplo do método de exposição. Indicamos que, embora a respiração ocorra por tal e tal propósito, cada estágio do processo segue os outros necessariamente (ARISTÓTELES, *Partes dos animais*, 642a 31-33).

Em certo sentido, portanto, a metodologia fisiológica de Aristóteles é teleológica. Mas não de um modo exagerado ou ofensivo aos hábitos intelectuais de um leitor moderno. Pois essa teleologia apenas estabelece que é necessário entender a função de cada órgão para o organismo – e quem negaria a importância disso? – e, em seguida, entender como cada um de seus aspectos, fenômenos ou partes contribui para essa função. Será isso muito diferente do método moderno? Poderia um biólogo encontrar um órgão desconhecido em um animal e satisfazer-se com sua descrição anatômica, sem tentar compreender sua função?

Por outro lado, é importante observar que o método adotado por Aristóteles era novo, na época – ele o contrasta com o de seus antecessores e procura defendê-lo cuidadosamente, o que não seria necessário se todos o adotassem:

Os primeiros a estudar a natureza... gastaram seu tempo tentando descobrir qual era o princípio ou causa material e como era ele... Descreveram a formação

de animais e plantas dizendo que o estômago e cada tipo de receptáculo para o alimento e as excreções é formado pela água que flui no corpo, e as aberturas das narinas feitas forçosamente pela passagem do alento... (ARISTÓTELES, *Partes dos animais*, 640b 5-16).

Outros exemplos mostram que os outros filósofos não haviam se preocupado (pelo menos sistematicamente) com a causa final, nas explicações naturais.

4 A FUNÇÃO DA RESPIRAÇÃO

De acordo com Aristóteles, todas as criaturas vivas possuem um calor inato que é essencial para o exercício de suas funções vitais. Esse calor vital deve ser mantido dentro de estreitos limites, pelo organismo: a falta de calor ou seu excesso podem levar à morte. No domínio médico, sabia-se muito bem que várias doenças são acompanhadas por febres ou baixa temperatura e que essas variações de temperatura eram indicações de algum problema vital. Tendo sido educado como médico, Aristóteles conhecia muito bem tudo isso.

Para manter o equilíbrio do calor orgânico, deve ser *necessário* (no sentido condicional) algum tipo de resfriamento. Aristóteles examina todos os tipos de seres vivos e identifica, em todos eles, um processo de refrigeração. Ele conclui que a respiração é o processo de resfriamento dos animais terrestres dotados de sangue. No caso dos peixes (aquáticos) ou no caso dos insetos e outros pequenos animais (desprovidos de sangue vermelho), os processos de refrigeração são diferentes e são também descritos por Aristóteles. O pulmão é o órgão de respiração – e, portanto, o órgão de refrigeração dos animais sanguíneos terrestres. Seu correspondente, nos peixes, é o conjunto de guelras.

Esta é a idéia geral da teoria aristotélica da respiração. Vejamos os textos que descrevem essas idéias mais amplas.

4.1 O calor interno e sua função

A existência de calor, nas criaturas vivas, é indicada por Aristóteles como um dado empírico:

Todas as partes e todo o corpo das criaturas vivas contém algum calor inato; e assim, quando estão vivas, são perceptivelmente quentes; mas, quando mortas e desprovidas de vida, são o oposto (ARISTÓTELES, *Sobre a juventude e a velhice*, 469b 7-8).

De fato, todos percebemos que *alguns* animais são quentes quando vivos (pessoas, gatos, cavalos, cães, etc.) e que, quando mortos, ficam frios. Aristóteles generaliza essa observação a *todos* os animais, incluindo peixes e insetos, e até mesmo às árvores². No caso de animais muito pequenos e de plantas, não parece ser possível *perceber* (sensorialmente) que são quentes. Nesses casos, deve tratar-se de uma extrapolação.

É interessante notar, no entanto, que o peripatético Theophrastos, em seu tratado "Sobre as plantas", afirma que elas são quentes, utilizando evidências que atribui a Menestor: certas plantas aquáticas não se congelam no inverno; e certas árvores derretem a neve que cai sobre suas folhas (THEOPHRASTOS, *De causis plantarum*, vol. 1, livro 1, §21.6). No entanto, mais adiante, Theophrastos indica outros critérios para determinar quais seriam as plantas mais "quentes": as mais oleosas, aromáticas e pungentes; ou as que produzissem sensação de calor quando ingeridas ou tocadas (*ibidem*, §22.5-6). Theophrastos parece estar se reportando a afirmações semelhantes de Aristóteles (*Geração dos animais*, 783b 18-20; *Partes dos animais*, 648b 12-15).

Esse calor deve ter algum fim, ou função. Aristóteles o descreve:

Tudo o que cresce deve necessariamente se alimentar. Esse alimento é sempre matéria fluida e sólida, e o cozimento e transformação da mesma é efetuado pelo poder do calor. Portanto, além de outras razões, essa seria suficiente para sustentar que necessariamente todos os animais e plantas devem possuir neles uma fonte natural de calor (ARISTÓTELES, *Partes dos animais*, 650a 2-7).

O raciocínio de Aristóteles é, em parte, muito forte. Observamos que as plantas e animais crescem por acréscimo de matéria, mas há alguma transformação envolvida; uma vaca transforma água e capim em carne e leite; a planta transforma terra, água e ar em madeira e folhas; e assim por diante. Como explicar essas transformações, em uma época em que a Química ainda não havia se desenvolvido? Aristóteles recorre a uma generalização da experiência: o calor (o Sol do verão) faz com que os frutos se tornem maduros e adequados para a alimentação; o calor do fogo torna os cereais e certas raízes adequados para a alimentação humana; esse calor também transforma a cor das substâncias. Aristóteles consi-

²Os répteis, peixes e invertebrados possuem, em geral, temperatura pouco superior à do meio ambiente; às vezes alguns décimos de grau, às vezes dois ou até cinco graus (ver BERNARD 1876, p. 14). Apenas no século XIX foram realizadas medidas de temperatura de insetos. Quando parados, sua temperatura é semelhante à do ambiente. Após um voo prolongado, sua temperatura pode atingir 10°C acima da temperatura do ar. Dentro de uma colméia de abelhas pode-se sentir uma temperatura mais elevada, por esse motivo (ver OGLE 1897, p. 122; BERNARD 1876, pp. 14-15).

derou que o processo interno de transformação dos alimentos seria semelhante à maturação e ao cozimento (ambos representados, em grego, pela mesma palavra – *πεψις*) – assunto que discute, em outro contexto, na “Meteorologia” (livro 4, caps. 2-6). Além disso, em um nível mais intuitivo, existe uma associação popular entre fogo e sangue – ambos são quentes e vermelhos. Veja-se mais adiante a relação estabelecida por Aristóteles.

Uma parte dos alimentos ingeridos pelos animais passa pelos intestinos e é expelida sob a forma de fezes. A outra parte deve ser distribuída, de alguma forma, por todo o corpo, depois de sofrer sua transformação ou “cozimento”. O único tipo de transporte de matéria por todo o corpo que Aristóteles conhecia era o fluxo sanguíneo. Era natural, portanto, que ele imaginasse que os alimentos absorvidos pelo sistema digestivo passassem diretamente ao sangue, sendo transformados pelo calor em sangue (no coração) e distribuídos por todo o corpo.

Em parte, o “cozimento” dos alimentos ocorre no aparelho digestivo:

O calor natural atua no intestino superior e inferior, que efetua o “cozimento” da comida com sua ajuda (ARISTÓTELES, *Partes dos animais*, 650a 14-15).

No entanto, embora o calor atue em várias partes do organismo, sua sede principal é o coração, que é também a sede da alma (*ψυχή*), para Aristóteles:

A fonte de todo esse calor deve estar no coração, nos animais sanguíneos, e em alguma parte correspondente, nos desprovidos de sangue; pois embora todas as partes reduzam e digiram o alimento por meio do seu calor natural, isso é mais verdadeiro na parte que mais controla. Quando as outras partes esfriam, a vida se mantém, mas quando a região do coração esfria, todo o corpo morre; pois o princípio do calor em todas as outras partes depende do calor aí localizado e a alma está, por assim dizer, alocada nesse órgão – que, nos animais sanguíneos, é o coração; e, nos desprovidos de sangue, aquilo que corresponde ao coração. Assim, a vida deve coincidir com a conservação desse calor, e aquilo que chamamos “morte” deve ser a destruição desse calor (ARISTÓTELES, *Sobre a juventude e a velhice*, 469b 8-20).

E é no coração que se realiza a última etapa da transformação dos alimentos:

... nos animais sanguíneos, o sangue é o nutriente final a partir do qual as partes se desenvolvem. Ora, é claro que, em relação ao alimento, a boca tem uma função (de cortar os alimentos), o estômago tem outra; mas o coração é o poder supremo e contribui com a última etapa. Assim, nos animais sanguíneos a fonte da alma nutritiva e sensitiva deve estar no coração... (ARISTÓTELES, *Sobre a juventude e a velhice*, 469a 1-7).

A alma ($\psi\upsilon\chi\eta$), para Aristóteles, é a causa imaterial (formal) dos seres vivos e exerce as funções de: dirigir a nutrição e crescimento; ser a sede das sensações; a origem do movimento; etc. No caso das plantas, a única faculdade é a nutrição e crescimento; os animais, além disso, possuem sempre a faculdade sensitiva. Aristóteles sempre associa a alma ao coração e ao calor:

No coração, como dissemos, está o princípio da vida e de todo movimento e sensação (ARISTÓTELES, *Partes dos animais*, 665a 11-12).

Alguns sustentam que a alma de um animal é fogo ou alguma substância semelhante. Isso é um modo grosseiro de expressão. Seria melhor dizer que a alma subsiste em algum corpo de natureza ígnea. A razão disso é que a substância quente é a mais apta de todas para as atividades da alma, pois uma das atividades da alma é nutrir, outra é produzir movimento; e essas são realizadas mais eficientemente por meio dessa substância (ARISTÓTELES, *Partes dos animais*, 652b 7-13).

Ora, todo alimento exige digestão, e o que produz digestão é o calor; portanto, tudo o que tem alma tem calor (ARISTÓTELES, *Sobre a alma*, 416b 27).

Essas idéias a respeito do calor interno dos animais, sua função, sua localização no coração e sua relação com a alma podem ser encontradas também no pequeno tratado "De respiratione":

Dissemos antes que a vida e a posse de uma alma dependem de algum grau de calor; pois a digestão, pela qual os animais assimilam seu alimento, não pode ocorrer sem a alma e calor. Pois todo alimento é tornado digerível pelo fogo. Portanto, a alma nutritiva primária deve residir na região do corpo e na parte dessa região onde esse princípio reside diretamente. Essa é a região intermediária entre a que recebe o alimento e aquela pela qual é expelido o excremento. Não possui nome nos animais desprovidos de sangue, mas nos animais sanguíneos essa parte é o coração. O alimento do qual as partes dos animais obtêm diretamente seu crescimento é a substância natural do sangue. Mas o sangue e os vasos sanguíneos devem ter a mesma fonte; pois os últimos existem por causa do primeiro, como seu recipiente e condutor. Mas, nos animais sanguíneos, o coração é a fonte das veias; pois as veias não atravessam o coração, mas saem dele. Podemos ver isso através de dissecações.

As outras faculdades da alma não podem existir sem a nutritiva (a razão disso foi discutida em meu tratado "Sobre a alma" (411b 18, 413b 1)) e esta não pode existir sem o fogo natural no qual a natureza a implantou (ARISTÓTELES, *Sobre a respiração*, 474a 25-b12).

4.2 A necessidade de controlar o calor interno

Embora a vida esteja estreitamente associada ao calor interno, esse calor não pode ser excessivo: ele deve ser controlado dentro de certos limites.

Do que dissemos, isto fica claro: os animais devem necessariamente possuir certa quantidade de calor. Ora, tudo precisa de algo para contrabalançá-lo, para que possa atingir moderação e equilíbrio. Pois é o meio e não cada um dos extremos, que tem realidade e racionalidade (ARISTÓTELES, *Partes dos animais*, 652b 16-21).

Essa justificativa ética (muito semelhante à doutrina da temperança de Aristóteles) é reforçada, através de uma argumentação puramente física, em duas obras: *Sobre a juventude e a velhice*, (469b 21 e seguintes) e *Sobre a respiração* (474b 10 e seguintes).

As outras faculdades da alma não podem existir sem a nutritiva... e esta não pode existir sem o fogo natural no qual a implantou. Mas a destruição do fogo ocorreu ou ao ser apagado ou por consumir-se. Ser apagado é a destruição pelos contrários. Assim, ele é apagado pelo frio do ar circundante tanto quando é uma massa quanto (e mais rapidamente) quando dividido. Esta forma de destruição é devida à violência, tanto em criaturas dotadas quanto nas desprovidas de alma; pois um animal morre, tanto ao ser cortado quanto ao ser congelado, por excesso de frio. Mas ele se extingue consumindo-se pelo excesso de calor; pois, se o calor circundante é excessivo, o objeto que queima morre, a menos que (o fogo) seja alimentado, não por se tornar frio, mas por consumir-se. Assim, portanto, se ele deve sobreviver, deve ocorrer algum tipo de resfriamento, pois isso o protege contra esse tipo de destruição (ARISTÓTELES, *Sobre a respiração*, 474b 10-24).

O excesso de frio ou o excesso de calor podem destruir o “fogo” interno. No entanto, o frio, no caso, é um perigo externo (uma pessoa ou um animal podem morrer de frio) mas o excesso de calor é principalmente um perigo interno – pois o calor já existe dentro do animal. Por isso, os seres vivos precisam de um mecanismo de refrigeração, mas não precisam de um mecanismo de aquecimento independente da própria fonte vital.

No trecho acima citado de Aristóteles há um aspecto curioso que merece ser notado: ele considera que a causa principal da morte de um inseto, ao ser cortado, é seu resfriamento excessivo:

Todos os insetos, quando cortados, permanecem vivos, exceto os que já são inicialmente muito frios, ou que, por seu tamanho são rapidamente resfriados. Mesmo

as vespas continuam vivas depois de cortadas em duas (ARISTÓTELES, *História dos animais*, 531b 31-33).

4.3 Os processos de resfriamento

A teoria aristotélica relativa ao resfriamento e equilíbrio térmico dos seres vivos é bastante complexa. Por um lado, ela afirma que o cérebro é um órgão frio, que serve para contrabalançar ou equilibrar o calor do coração. Por outro lado, indica a existência de um processo de resfriamento, que utiliza água ou ar, que resfria a região próxima ao coração. Essa refrigeração pode ser externa ou interna. Além disso, um pequeno grau de resfriamento é também proporcionado pelo “pneuma” interno – um conceito importante, mas de difícil compreensão no sistema aristotélico.

Embora o papel do cérebro não tenha relação com a respiração, vamos citá-lo, apenas para tornar mais completa a exposição.

O cérebro é a mais fria de todas as partes do corpo... a frieza do cérebro é mostrada não apenas por ser frio ao tato, mas também por ser a mais seca de todas as partes fluidas do corpo e a que possui menos sangue – de fato, não possui sangue nenhum... O cérebro está presente para preservar o animal como um todo... Daquilo que dissemos, fica claro que os animais devem necessariamente ter uma certa quantidade de calor interno. Ora, tudo exige algo para contrabalançá-lo, ... Por esta causa, a natureza dispôs o cérebro para contrabalançar a região do coração e o calor dentro dele; e é por isso que os animais possuem um cérebro, composto de água e terra. Assim, embora todos os animais sanguíneos possuam cérebro, praticamente nenhum dos outros o possui (a não ser por uma contraparte, como no caso do polvo), pois, como lhes falta sangue, possuem pouco calor (ARISTÓTELES, *Partes dos animais*, 652a 27-b26).

Apesar desse papel resfriador do cérebro, é a refrigeração, por meio do ar (ou da água), através dos pulmões (ou das guelras) ou externa (no caso de pequenos animais, como os insetos) que recebeu maior atenção de Aristóteles.

É óbvio, portanto, que se o calor deve ser conservado (e ele deve sê-lo, para que a criatura continue a viver) deve existir algum resfriamento do calor em sua fonte... Quanto aos animais, como alguns vivem na água e outros passam sua vida no ar, eles realizam seu resfriamento através desses elementos – os primeiros usando a água e os últimos o ar (ARISTÓTELES, *Sobre a juventude e a velhice*, 470a 6-b5).

É necessário possuir algum meio para resfriar o calor do corpo; e os animais dotados de sangue são tão quentes que esse resfriamento deve vir de fora deles, embora os desprovidos de sangue possam realizar seu próprio resfriamento pelo

as vespas continuam vivas depois de cortadas em duas (ARISTÓTELES, *História dos animais*, 531b 31-33).

4.3 Os processos de resfriamento

A teoria aristotélica relativa ao resfriamento e equilíbrio térmico dos seres vivos é bastante complexa. Por um lado, ela afirma que o cérebro é um órgão frio, que serve para contrabalançar ou equilibrar o calor do coração. Por outro lado, indica a existência de um processo de resfriamento, que utiliza água ou ar, que resfria a região próxima ao coração. Essa refrigeração pode ser externa ou interna. Além disso, um pequeno grau de resfriamento é também proporcionado pelo “pneuma” interno – um conceito importante, mas de difícil compreensão no sistema aristotélico.

Embora o papel do cérebro não tenha relação com a respiração, vamos citá-lo, apenas para tornar mais completa a exposição.

O cérebro é a mais fria de todas as partes do corpo... a frieza do cérebro é mostrada não apenas por ser frio ao tato, mas também por ser a mais seca de todas as partes fluidas do corpo e a que possui menos sangue – de fato, não possui sangue nenhum... O cérebro está presente para preservar o animal como um todo... Daquilo que dissemos, fica claro que os animais devem necessariamente ter uma certa quantidade de calor interno. Ora, tudo exige algo para contrabalançá-lo, ... Por esta causa, a natureza dispôs o cérebro para contrabalançar a região do coração e o calor dentro dele; e é por isso que os animais possuem um cérebro, composto de água e terra. Assim, embora todos os animais sanguíneos possuam cérebro, praticamente nenhum dos outros o possui (a não ser por uma contraparte, como no caso do polvo), pois, como lhes falta sangue, possuem pouco calor (ARISTÓTELES, *Partes dos animais*, 652a 27-b26).

Apesar desse papel resfriador do cérebro, é a refrigeração, por meio do ar (ou da água), através dos pulmões (ou das guelras) ou externa (no caso de pequenos animais, como os insetos) que recebeu maior atenção de Aristóteles.

É óbvio, portanto, que se o calor deve ser conservado (e ele deve sê-lo, para que a criatura continue a viver) deve existir algum resfriamento do calor em sua fonte... Quanto aos animais, como alguns vivem na água e outros passam sua vida no ar, eles realizam seu resfriamento através desses elementos – os primeiros usando a água e os últimos o ar (ARISTÓTELES, *Sobre a juventude e a velhice*, 470a 6-b5).

É necessário possuir algum meio para resfriar o calor do corpo; e os animais dotados de sangue são tão quentes que esse resfriamento deve vir de fora deles, embora os desprovidos de sangue possam realizar seu próprio resfriamento pelo

pneuma interno. Ora, o resfriamento externo deve ser efetuado pela água ou pelo ar. Isso explica porque nenhum peixe tem pulmão. Eles são resfriados pela água e, ao invés de pulmões, possuem guelras [ver o tratado *Sobre a respiração*]. Os animais que respiram, por outro lado, são refrigerados pelo ar e por isso todos possuem pulmões (ARISTÓTELES, *Partes dos animais*, 668b 34 – 669a 7).

Nos trechos acima, Aristóteles apresenta a necessidade condicional (teórica) do processo de respiração e descreve seus processos básicos. Independentemente, ele proporciona evidências empíricas para mostrar que a respiração é, de fato, um processo de refrigeração:

Isso é claro a partir de fatos e experiências de um tipo com o qual todos estamos familiarizados. Pois quando está calor, ficamos mais quentes e por isso sentimos uma maior necessidade de respiração e respiramos mais frequentemente. Mas, quando a atmosfera ambiente está fria e contrai e resfria o corpo, o efeito é tornar mais lenta a respiração... Quando as pessoas estão quentes, respiram frequentemente, o que mostra que assim fazem para esfriar-se...³ (ARISTÓTELES, *Sobre a respiração*, 472a 30-b5).

É absurdo que a inalação fosse a entrada do calor. Pois o oposto parece ser verdadeiro: o que é exalado é quente e o que é inalado é frio (ARISTÓTELES, *Sobre a respiração*, 472b 32 – 473a 2).

Aqui vemos o uso magistral que Aristóteles faz de conhecimentos do dia-a-dia. De fato, quando está quente ou quando as pessoas se aqueceram (pelo exercício físico, por exemplo), elas não sentem necessidade de respirar mais fortemente e mais rapidamente? Como explicar isso, se a respiração não fosse um processo de resfriamento? Como se vê, as peças do quebra-cabeças se encaixam com perfeição. A teoria do calor interno e os conhecimentos empíricos reforçam a explicação da respiração⁴.

5 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES HISTÓRICAS

Antes de prosseguir com o detalhamento da teoria de Aristóteles, é conveniente descrever um pouco seu contexto histórico e alguns episódios posteriores.

³O ritmo respiratório depende muito pouco da temperatura ambiente, exceto em casos extremos de calor e frio (OGLE 1897, p. 117). No entanto, nota-se uma grande aceleração da respiração quando uma pessoa se exercita e se aquece.

⁴Uma outra evidência do dia-a-dia poderia ter sido usada por Aristóteles a seu favor: quando prendemos a respiração, sentimos calor. O fato era conhecido na antiguidade, obviamente. Theophrastos indica que prender a respiração era um conselho dado às pessoas que estavam pálidas, para que o calor interno se acentuasse e rompesse a palidez (Theophrastos, *De igne*, §15).

Não se sabe muito sobre o que outros autores, anteriores a Aristóteles, pensavam sobre a respiração. Quase tudo o que se sabe depende do testemunho do próprio Aristóteles, que discute, no *Sobre a respiração*, as propostas anteriores. Hipócrates, embora fale sobre respiração, pulmão, coração, calor, febre, etc., não parecia dispor de uma teoria sobre a respiração. Platão, no *Timeu*, apresenta um esboço de uma teoria – e ela coincide, em parte, com a de Aristóteles. Descreveremos a seguir alguns desses precedentes e, depois, a evolução posterior desse assunto.

5.1 Os pré-socráticos

Aristóteles começa o seu tratado “De respiratione” condenando todos os seus antecessores:

Alguns dos antigos filósofos naturais trataram da respiração; alguns deles não ofereceram qualquer explicação para o fato desse fenômeno ocorrer nas criaturas vivas; outros a discutiram sem muita intuição e com experiência factual insuficiente. Além disso, eles dizem que todas as criaturas respiram; mas isso não é verdade. Devemos então primeiro tratar dessas questões, de tal forma que não censuremos infundadamente homens que não estão aqui para se defender (ARISTÓTELES, *Sobre a respiração*, 470b 6-12).

Aristóteles nos conta que, segundo Anaxágoras e Diógenes, todos os animais (até os peixes e ostras) respiram e mostra, na discussão de suas idéias, que eles não conheciam os órgãos de respiração, nem a anatomia dos peixes e insetos; não explicavam a causa (final) da respiração; e suas propostas eram facilmente refutáveis em se recorrendo à experiência.

Demócrito tentava explicar a respiração da seguinte forma: considerava que a alma era constituída por átomos semelhantes aos do fogo e que o ar externo pressionava e tendia a destruir esse fogo; mas, pela respiração, o animal inalava outras partículas de fogo existentes no ar, que se adicionariam às de sua alma, podendo assim resistir à pressão externa. É claro que a explicação de Demócrito não se sustenta. Se essa fosse a causa da respiração, o ato de respirar retiraria o “fogo” do ar inalado e a expiração seria mais fria do que a inalação.

Empédocles, segundo Aristóteles, não proporcionava uma explicação da causa (final) da respiração, apenas tentava explicar seu mecanismo. Para isso, atribuía um papel preponderante ao nariz. Mas, como Aristóteles aponta, é possível respirar pela boca, sem problemas.

5.2 Platão: o *Timeu*

É no *Timeu* que se encontra o germe da teoria aristotélica da respiração – o que talvez indique uma origem mais remota, associada a Pitágoras, já que *Timeu* era um pitagórico. No *Timeu* é exposta a seguinte teoria: o coração é a fonte das emoções e está associado ao calor e ao fogo; os pulmões, que envolvem o coração, servem para resfriá-lo e amortecer seus saltos:

A parte da alma que é viril e ambiciosa por vitórias foi colocada próxima à cabeça, entre o pescoço e o diafragma (no peito), para que pudesse ouvir o discurso da razão (na cabeça) e associar-se a ela restringindo a força dos desejos, quando estes não quisessem consentir em obedecer à palavra de comando da cidadela... Além disso, para os saltos do coração, quando se presente o perigo ou quando a cólera surge, percebendo que todos esses arroubos de paixão ocorriam por meio do fogo, foi planejada uma compensação implantando a estrutura do pulmão, macio e sem sangue e além disso perfurado internamente por cavidades como uma esponja, para que, recebendo alento e bebida, pudesse resfriar o coração e assim proporcionar refrigério e alívio ao fogo. Para esse fim foram cortados os canais da traquéia até o pulmão, e o próprio pulmão foi colocado em torno do coração como um tipo de acolchoamento, de tal forma que, quando o espírito em seu interior estivesse na mais alta paixão, o coração pudesse saltar contra uma substância macia e ser esfriado, e assim, estando menos perturbado, ser mais capaz de ajudar o elemento espiritual a servir à razão (PLATÃO, *Timeu* 70 c-d).

Mais adiante, o *Timeu* também se refere ao fogo digestivo e à necessidade de esfriá-lo:

Tudo isso que nosso corpo faz e lhe é feito resulta em sua nutrição e em ser mantido vivo, sendo irrigado (com água) e resfriado; pois a cada vez que, quando o alento entra e sai, o fogo interno associado a ele segue seu movimento e em seu eterno erguer-se e deacer passa pelo ventre e envolve a carne e a bebida, ele as dissolve e, dividindo-as em pequenos pedaços, as leva pelas saídas na direção de seu movimento, jogando-as nas veias, como a água de uma fonte nos canais, e fez as correntes das veias fluírem através do corpo como através de um aqueduto (PLATÃO, *Timeu* 78e – 79a).

Como se vê, em Platão já se encontra, de uma forma embrionária, a teoria da respiração de Aristóteles. No entanto, ela ainda é muito simples, faltando-lhe conhecimentos empíricos sobre anatomia e sobre o processo respiratório. Em particular, Aristóteles critica a idéia de que o pulmão possa servir para amortecer os “saltos” do coração:

O órgão da respiração é o pulmão. Ele possui sua fonte de movimento no coração e proporciona um amplo espaço para a entrada do alento porque é grande e esponjoso. Quando o pulmão se dilata, o alento entra e quando ele se contrai o alento sai novamente. A teoria de que o pulmão serve como amortecedor para os saltos do coração não é correta. Esse saltar do coração não é encontrado senão no homem, e isso porque o homem é o único animal que tem esperança e expectativa sobre o futuro. Além disso, em muitos animais o coração está distante do pulmão, que está acima (do coração), de modo que o pulmão não pode ajudar a absorver os saltos do coração (ARISTÓTELES, *Partes dos animais*, 669a 8-15).

Essa falta de conhecimentos sobre coisas que poderiam ser observadas em dissecações e em observações cuidadosas de seres vivos, como as que Aristóteles realizou, era preenchida por Platão utilizando uma anatomia imaginária e processos fantásticos. Não cabe aqui, no entanto, descrever esses detalhes.

Embora nem todos os predecessores de Aristóteles atribuíssem uma função de resfriamento à respiração, a idéia já havia sido proposta por outros. Aristóteles não é original na idéia, em si, mas em sua elaboração: pelo acúmulo de dados experimentais, conhecimentos anatômicos e sistematização teórica. Como ficará mais claro posteriormente, Aristóteles possuía grande quantidade de informações biológicas que utilizava na formulação de sua teoria. Nenhum dos antigos o igualou nisso.

5.3 Textos hipocráticos

Também em algumas obras da escola hipocrática são encontradas idéias semelhantes às de Aristóteles. Aqui, no entanto, há um problema histórico bastante complexo, pois o chamado "Corpus Hippocraticus" certamente não é todo de autoria da mesma pessoa e não foi todo escrito antes de Aristóteles. Portanto, essas evidências textuais não mostram que Hippocrates, antes de Aristóteles, já considerava que a função da respiração era o resfriamento do calor interno. Mostram que "alguém", em torno da época em que Aristóteles viveu – talvez antes, talvez depois – defendia essa idéia.

As citações encontradas nos textos hipocráticos sobre o assunto são poucas. As afirmações mais claras e mais diretas estão no tratado "Sobre o coração" (*περι καρδιης*), §1 e §5:

Nele (no coração?) há a quantidade de líquido necessária para remediar o fogo que queima o coração.

O coração possui uma parede espessa... É envolto suavemente pelo pulmão e, assim envolvido, modera a força do calor. De fato, o pulmão é naturalmente frio

e, além disso, a respiração o refresca (HIPPOCRATES, *Oeuvres complètes*, vol. 9, pp. 81, 85).

Há outras semelhanças, em outros tratados: no “Sobre as carnes” (*περι κερκων*), o autor identifica o cérebro como o centro do frio (§4) e indica que o calor mais forte está no coração (§6); mas diz, também, que o coração tem ar e o distribui pelas veias (§§5 e 6), além de conter descrições primárias como:

O pulmão se formou ao lado do coração da seguinte forma: o coração, aquecendo a parte do humor que era mais viscosa secou-a sob a forma de espuma, tornou-a esponjosa e a encheu de pequenas veias... (HIPPOCRATES, *Oeuvres complètes*, vol. 8, p. 595).

A necessidade de controlar o excesso de calor corporal é também exposta em outros textos, onde, no entanto, não se fala sobre o papel resfriador da respiração. No tratado “Sobre os sete” (*περι εβδομαδων*), o autor afirma que a saúde é o equilíbrio de opostos (inclusive do calor e do frio – §10 e §24); que a alma é uma mistura de calor e frio (§13); que o calor da alma, colocado em movimento de uma forma anômala pelo excesso de trabalho, de bebida (alcoólica), de alimentos, etc., produz o calor e a febre (§19); e que “o calor que produziu o corpo é também o que nos mata” (§20) (HIPPOCRATES, *Oeuvres complètes*, vol. 8, pp. 638-48).

Apesar desses pontos de semelhança, as diferenças são muitas. Não se encontra em nenhum texto hipocrático uma teoria da respiração, nem descrições de seus fenômenos, do pulmão, etc. Apenas citações esparsas, como as acima indicadas.

5.4 Theophrastos

Theophrastos, discípulo e continuador da obra de Aristóteles, é um dos muitos que adotará as suas concepções gerais sobre a respiração. Sua principal contribuição a esse tema está contida em um pequeno tratado “Sobre o fogo”. Lá, ao descrever como o fogo pode se extinguir, afirma:

A extinção também ocorre por sufocação. Nesse caso o calor é armazenado, sendo incapaz de sair, e faz definhar e secar a superfície queimante como pela compressão (por isso, não é inconveniente a expressão “sufocar o fogo”). Pois, em geral, o ar mais denso pode realizar isso e, quando o ar é queimado, mais completa e rapidamente. ... O fogo se extingue se for bloqueado por todos os lados e deixado sem ventilação... Pois impedindo-se o fogo de fluir para fora, ele se sufoca. ... Nas minas, as lâmpadas se extinguem... pois o ar, sendo espesso e imóvel, comprime e sufoca a chama, por assim dizer... (THEOPHRASTOS, *De igne*, §11 e §23).

A mesma idéia é aplicada ao caso da respiração:

Por esta razão, o ar espesso e parado causa sufocação entre os mineiros; ele não dá lugar ao alento exalado. Por isso são construídos ventiladores de tal forma que o ar seja tornado mais fino pelo movimento e, ao mesmo tempo, dê lugar para que ocorra uma troca (THEOPHRASTOS, *De igne*, §24).

A concepção de Theophrastos é um pouco dúbia. Parece indicar, por um lado, que o ar pode sofrer alterações de natureza, além de aquecimento e resfriamento. Mas isso não é totalmente claro.

5.5 Galeno

Sabe-se que Galeno atacou e corrigiu várias falhas dos estudos biológicos de Aristóteles – em particular, recolocando (de acordo com Platão) a alma no cérebro e mostrando que esse órgão era essencial para os processos sensoriais.

Curiosamente, Galeno irá defender, com poucas alterações, a teoria de Aristóteles sobre a respiração, no seu tratado “Sobre a utilidade da respiração” (GALENUS, *Opera omnia*, vol. 4, pp. 470-511: *De usu respirationis liber*). Galeno começa descrevendo as idéias de vários de seus predecessores, o que nos informa que Philiston e Diocles atribuíam à respiração a função de refrigerar o calor inato; Asclepiades defendia sua importância para a geração da alma; e Hippocrates ensinava que ela servia para nutrição e refrigeração.

Após muitas digressões, Galeno, como Aristóteles, indica a existência do calor vital e sua relação íntima com a alma e a vida; e associa a morte à extinção desse calor; considerava por isso que o conhecimento das causas que extinguem uma chama permitiria compreender os processos letais. Por um lado, Galeno aceita, como Aristóteles, que o excesso de calor destrói o fogo, citando como exemplo que o “ardor do Sol” pode apagar uma chama (uma idéia que aparece também na obra pseudo-aristotélica “*Problemata*”, 2.23 e 33.2). Um aspecto novo adicionado por Galeno é o de que o fogo pode se extinguir pelo acúmulo de fuligem e fumaça; daí infere como provável que o fogo do coração também produza fumaça e matéria fuliginosa e que, quando a respiração é interrompida, elas se acumulam e sufocam a chama vital. Esta é uma idéia extremamente sugestiva para nós, pois lembra a moderna teoria de que a respiração precisa libertar o organismo do gás carbônico – que é idêntico ao produto da combustão de materiais orgânicos. No entanto, Galeno não dispunha de fundamentação para sua proposta, além da analogia. Atualmente, consideraríamos como boa evidência favorável às idéias de Galeno (e contrária à teoria da refrigeração) o fato de que um animal encerrado em um

volume limitado de ar acaba por morrer, sem que o ar fique notavelmente quente. No entanto, deve-se notar que Aristóteles conhecia esse fato e o explicava:

Os animais que respiram se sufocam se o ar é em pequena quantidade e permanece o mesmo; pois nesses casos ele rapidamente se torna quente, pois o contato com o sangue o aquece (ARISTÓTELES, *Sobre a respiração*, 478b 19-20).

Embora, para nós, esse pareça um ponto essencial, é provável que não fosse muito importante para Aristóteles e que ele considerasse a teoria mais complexa de Galeno como desnecessária.

Deve-se assinalar que a idéia de Galeno teve seguidores. No século IV d.C., Oribase, ao descrever a função do pulmão, afirma:

A respiração ocorre para o bem do coração, o qual, por um lado, necessita da substância do ar e, por outro lado, dado seu calor fervente, tem um desejo muito vivo de ser refrescado. Ora, a inspiração o refresca, levando-lhe uma qualidade fria; e a expiração, retirando-lhe o que contém de efervescente e, por assim dizer, de queimado e de fuliginoso... (ORIBASE, *Oeuvres*, vol. 3, p. 326).

5.6 O período moderno

Foi apenas no decorrer do século XVII que a teoria de Aristóteles sobre a função refrigeradora da respiração sofreu duros ataques. A Royal Society de Londres realizou a experiência de fazer uma pessoa inspirar e expirar seguidamente o mesmo ar, observando que seguia-se a sufocação do sujeito, concluindo que não era o frio ou calor que produzia a sufocação (SPRAT 1966, p. 218). Mas a experiência só se tornou realmente significativa quando Boyle encerrou um animal em um recipiente de vidro fechado e mostrou que ele acabava por perecer mesmo quando o recipiente era resfriado com gelo ou neve. Portanto, embora o ar permanecesse frio, ele se tornava impróprio para a respiração. Era preciso concluir que a respiração produzia algum outro tipo de alteração do ar, além de aquecê-lo; e que não era apenas pelo resfriamento que o ar mantinha a vida. Outra experiência significativa foi feita por Haller (ver OGLE 1897, p. 51): mostrou que um animal pode se manter vivo mesmo quando encerrado em um local onde o ar está mais quente do que seu próprio sangue. Nessas condições, era difícil entender como o ar pudesse refrigerar o animal (embora se pudesse alegar que o movimento do ar, mesmo quente, produziria o resfriamento). Aliás, é interessante citar que, no século XVIII, foram feitas curiosas observações sobre a capacidade do ser humano de permanecer vivo e à sua temperatura normal, durante muito tempo, em um local aquecido dezenas de graus acima da temperatura corporal, e impedindo-se

o resfriamento por transpiração (saturando-se o ar de unidade). Conclui-se, na época, que o organismo vivo é capaz de produzir frio (BLAGDEN 1775).

Através de experimentos, Boyle tentou mostrar que a diferença entre o ar adequado e o inadequado à respiração não era física: não dependia da temperatura, densidade ou elasticidade (pressão) do ar. Devia, portanto, ser uma diferença química. Podia ser algo *adicionado* ao ar pela respiração e pela combustão, que o tornava inadequado à manutenção desses processos; ou algo subtraído ao ar por eles. Boyle era favorável à idéia de que a respiração e a combustão apenas *retiravam* algo do ar, pois verificou que, mesmo no caso de chamas sem fumaça produzidas pela queima de álcool, o ar se tornava inadequado à respiração e à combustão (e imaginou que, se nada se *via* sair do fogo, nada estava saindo). Foi graças a Lavoisier, cem anos depois, que se estabeleceu que a respiração e a combustão *retiram* algo (oxigênio) e *adicionam* outra coisa (gás carbônico) ao ar. Além disso, Lavoisier estabeleceu que a respiração é um processo de combustão e não de refrigeração: o ar propicia a geração de calor no organismo.

No entanto, mesmo após Lavoisier, ainda existiam pontos fundamentais em discussão: serviria a respiração *também* para resfriar o sangue? Liebig e Claude Bernard estudaram experimentalmente o problema, concluindo que o sangue se resfria ao passar pelos pulmões (BERNARD 1876). Esses resultados foram, depois, contestados por Savory e outros (ver OGLE 1897, p. 59).

Note-se que as experiências realizadas no século XVII por Boyle e outros eram simples e poderiam ter sido realizadas por Aristóteles. Apenas os estudos de Lavoisier exigiam um conhecimento mais avançado de química – assim como os de Claude Bernard exigiam uma mais avançada técnica experimental.

6 O DETALHAMENTO DA TEORIA ARISTOTÉLICA

Após essas considerações históricas, retornemos à exposição da teoria peripatética da respiração. Veremos agora alguns detalhes em relação à respiração dos animais terrestres e dos processos de resfriamento dos animais aquáticos e insetos.

6.1 Os graus de perfeição dos animais

Como já vimos, Aristóteles afirma que os animais dotados de sangue são resfriados internamente através de água ou ar. Essa diferença entre resfriamento a água ou a ar não depende apenas do meio em que esses animais vivem: há outras diferenças importantes.

Em seguida, devemos explicar como esse resfriamento ocorre nas criaturas que

respiram e nas que possuem guelras. Já afirmamos que todas as criaturas que possuem pulmões, respiram. Mas restam duas questões: por que algumas criaturas possuem esse órgão e por que as que o possuem precisam respirar. A resposta à primeira é que os animais superiores possuem mais calor, pois têm um tipo mais elevado de alma; pois possuem uma natureza superior à dos peixes. Assim, os animais que possuem pulmão com mais sangue e calor são de maior tamanho – e aquele no qual o sangue é mais puro e em maior quantidade entre todas as criaturas vivas é o mais ereto, ou seja, o homem... (ARISTÓTELES, *Sobre a respiração*, 477a 11-23).

Aqui, Aristóteles faz uso de uma diferença semi-quantitativa, de graus de perfeição e graus de calor. É muito importante notar o uso desse tipo de análise, pois é o passo intermediário entre estudos puramente qualitativos (classificações e uso de conceitos duais – ou é, ou não é) e estudos quantitativos.

A teoria dos graus de perfeição dos animais é desenvolvida por Aristóteles no *De generatione*. Lá, Aristóteles estabelece uma escala de perfeição baseada nos modos de reprodução: quanto mais perfeita a prole, ao ser inicialmente produzida pelos pais, maior o grau de perfeição da espécie (*Geração dos animais*, 732a 25 e seqüência). Assim sendo, os animais mais perfeitos são os *vivíparos*, em que os filhotes já nascem com todos os órgãos e estrutura semelhante aos adultos; em segundo lugar, os *ovovivíparos*, que são inicialmente produzidos sob a forma de um ovo, mas esse ovo é incubado internamente, emergindo o filhote já constituído; em terceiro lugar, os *ovíparos*, que produzem ovos que são incubados externamente, mas dos quais nascem filhotes “perfeitos” – Aristóteles distingue dois tipos de ovíparos: os que já produzem ovos “perfeitos”, que não crescem depois de produzidos, e os que crescem depois de produzidos (e que são menos perfeitos); os *larvíparos* são ainda inferiores, pois os filhotes são tão imperfeitos que precisam passar por uma metamorfose (na qual se tornam, na fase intermediária de pupa, semelhantes a ovos) antes de se assemelhar aos adultos. Ainda mais baixos na escala animal estão os seres que podem ser gerados espontaneamente (sem pais) e os *testacea*, que se assemelham a plantas.

Estabelecendo essa escala, Aristóteles observa que, além do processo de reprodução, várias outras características mudam de uma classe para a outra:

- a) Vivíparos: são os mais quentes e fluidos (aquosos); possuem pulmão macio, com muitos vasos sanguíneos: inclui todos os mamíferos terrestres e os cetáceos.
- b) Ovovíparos: são menos quentes, porém mais fluidos: inclui alguns grandes peixes sem escamas (como o tubarão) e as víboras⁵.

⁵ Aristóteles supunha que todos os peixes cartilagosos (como o tubarão) eram ovovivíparos; mas o peixe-cão e a raia não o são (OGLE 1897, p. 124). Por outro lado, sua descrição dos peixes cartilagosos é, em geral, correta: são carnívoros, suas guelras não são cobertas, vivem

- c) Ovíparos do 1º tipo: são quentes, quase tanto como os vivíparos, porém menos fluidos (mais terrosos): inclui os pássaros e os animais terrestres com escamas e carapaças: cobras (excluindo as víboras), tartarugas, etc.⁶.
- d) Ovíparos do 2º tipo: são mais frios e mais sólidos: inclui os peixes com escamas e os crustáceos.
- e) Larvíparos: os mais fracos dos animais que se reproduzem sexualmente. Inclui grande parte dos insetos (que, para Aristóteles, são os animais que possuem alguma divisão no tronco): formigas, vespas, cigarras, aranhas, etc.
- f) Insetos que nascem espontaneamente: moscas, bezouros, etc.
- g) Testácea.

Essas diferenças estão associadas ao tipo de alma existente em cada um desses animais. Os superiores possuem funções vitais mais complexas do que os inferiores; e, como essas funções vitais exigem calor (ou fogo) para sua realização, é natural que a ordem dos animais, quanto à sua perfeição, esteja correlacionada ao seu calor.

Em função dessas diferenças, Aristóteles explicará a variedade dos processos de resfriamento. Assim, como vimos na citação acima, os animais superiores (os vivíparos) são os mais quentes e os que precisam do melhor tipo de refrigeração. Poder-se-ia pensar que, nesse caso, a refrigeração pela água seria mais adequada. Mas Aristóteles tentará mostrar que isso não é verdade.

6.2 O resfriamento pelo ar e pela água

De acordo com Aristóteles:

A razão pela qual os que possuem pulmões aspiram ar e respiram, e particularmente os que possuem pulmões repletos de sangue, é que o pulmão é esponjoso e cheio de tubos. Esta parte contém mais sangue do que qualquer outro dos órgãos internos⁷. Todas as criaturas que possuem essa parte repleta de sangue necessitam de um resfriamento rápido, pois há pouca margem para variação do seu fogo

em águas profundas, sua boca fica na parte baixa do corpo, etc. (LONES 1912, p. 229).

⁶Novamente há aqui uma generalização incorreta: existem peixes com escamas que não são ovíparos, como o *Zoarces viviparus* (existente no Mediterrâneo), que poderia ter sido observado por Aristóteles, além de outros (LONES 1912, p. 24). Além disso, deve-se notar que, usualmente, os pássaros possuem temperatura mais elevada do que os mamíferos. Normalmente, os mamíferos (vivíparos) possuem temperatura entre 35 e 40°C; os pássaros, entre 40 e 45°C. Esse exemplo mostra que as comparações entre animais "mais quentes" e "mais frios" utilizadas por Aristóteles não correspondiam a nosso critério de maior ou menor temperatura corporal (ver BERNARD 1876, pp. 13-4).

⁷A grande irrigação sanguínea das paredes dos pulmões é uma descoberta de Aristóteles. Platão imaginava que ele era totalmente desprovido de sangue, provavelmente por não haver examinado animais logo após sua morte (ver ARISTÓTELES, *História dos animais*, 496b 5,

vital; e o ar deve penetrar todo o pulmão, por causa da quantidade de sangue e calor que ele contém. Ora, o ar pode facilmente preencher essas duas funções; pois, por sua natureza, ele é muito rarefeito e rapidamente penetra nele todo e o resfria. Mas, com a água, ocorre o contrário. Por isso, é óbvio que os animais que possuem sangue em seus pulmões respiram mais: pois as criaturas mais quentes exigem mais resfriamento, e ao mesmo tempo o alento passa facilmente para a fonte do calor, que é o coração (ARISTÓTELES, *Sobre a respiração*, 478a 11-25).

O ar entra e sai dos pulmões sem necessidade de esforço, como percebemos; se respirássemos água, seria necessário um esforço muito maior para que ela entrasse e saísse – e, de fato, percebe-se que, nos peixes, não há um órgão semelhante aos pulmões, interno, ligado a um tubo ao exterior: as guelras são laterais e externas. Mecanicamente, portanto, a respiração (pelo ar) é mais conveniente. Além disso, Aristóteles indica que o ar também passa do pulmão para o coração. Nas dissecações, observa-se que as veias pulmonares pareciam vazias (de sangue) e Aristóteles concluiu que elas transferiam parte do alento dos pulmões para o coração, ajudando a resfriá-los (ver *História dos Animais*, 496a, 511b). No caso dos peixes, isso não ocorria.

Aristóteles se refere à teoria de Empédocles, segundo a qual as criaturas mais quentes vivem na água, para mais facilmente se resfriar. Aristóteles refuta essa sugestão tanto por motivos empíricos quanto teóricos:

Não parece que eles sejam mais quentes do que os animais terrestres: pois alguns deles são totalmente desprovidos de sangue, e outros possuem pouco sangue (ARISTÓTELES, *Sobre a respiração*, 477b 9-11).

No caso dos peixes, a água é atraída e expelida pelas guelras, resfriando-as; e estas estão próximas e conectadas ao coração por vasos sanguíneos, resfriando-o:

Deve-se estudar por dissecações e pela *História dos animais* como o coração se comunica por passagens com o pulmão⁶. Falando de um modo geral, a natureza

511b 14).

⁶ Aristóteles dá grande importância ao estudo dos animais por dissecação, tendo escrito uma obra ilustrada sobre o assunto – hoje perdida. Pode-se ver exemplos de seus estudos e do uso da faca ao cortar os animais no seu tratado *História dos animais*, livro II, caps. 7 e 11-12; livro III, cap. 4; livro VI, cap. 3. Provavelmente não dissecou pessoas, por motivos religiosos; mas dissecou fetos humanos abortados (ARISTÓTELES, *História dos animais*, livro VII, cap 3). Erasistratos e Herophilos de Alexandria, seguidores de Aristóteles, no século III a.C., foram dos primeiros a fazer dissecações humanas. O próprio Galeno utilizava quase exclusivamente macacos. Em suas obras biológicas, Aristóteles descreve corretamente, com bastante detalhes, os órgãos de 110 animais que provavelmente dissecou; em certos casos, parece ter se baseado em informações de outras pessoas (ver LONES 1912, pp. 102-6).

dos animais exige resfriamento devido ao forte calor que a alma adquire no coração. Esse resfriamento é obtido pela respiração, no caso dos animais que possuem tanto pulmão quanto coração; mas nos que possuem coração e não pulmão, como os peixes, como sua natureza é aquática, realizam esse resfriamento pelas guelras. A posição do coração em relação às guelras deve ser estudada visualmente por dissecações, e em detalhe consultando a *História*. Mas, em resumo, os fatos são os seguintes: poder-se-ia supor que a posição do coração é diferente nos animais terrestres e nos peixes, mas realmente é idêntica... Ora, do topo do coração, sai um tubo, como uma veia fibrosa, que vai até a junção onde as guelras se encontram. Este é o tubo mais largo, mas de cada lado do coração outros tubos correm até a extremidade de cada uma das guelras e através destes o processo de resfriamento chega até o coração, com a água passando incessantemente pelas guelras. Na respiração, o peito dos animais se move repetidamente para cima e para baixo, quando inspiram e expõem o alento, do mesmo modo como se movem as guelras dos peixes (ARISTÓTELES, *Sobre a respiração*, 478a 26 - b 16).

Embora não aceitemos, atualmente, a teoria de Aristóteles, é preciso notar quantos aspectos importantes ele desenvolveu. A correspondência entre as guelras e os pulmões é uma de suas descobertas notáveis. Como veremos depois, pensava-se antes dele que os peixes respiravam pela boca e Aristóteles foi o primeiro a explicar a função das guelras. Para fazê-lo, ele utiliza, por um lado, generalizações de grande número de observações que mostravam que a) nenhum animal com pulmões possui guelras e vice-versa; b) todos os animais com sangue possuem ou pulmões ou guelras; c) os animais com pulmões podem viver no ar e não submersos por muito tempo na água; com os dotados de guelras, ocorre o oposto; d) as conexões anatômicas dos pulmões com o coração são semelhantes às das guelras com o coração. Note-se também que Aristóteles se refere repetidamente a dissecações: ele não se baseava apenas em observações externas.

Até agora nunca se observou uma criatura que tivesse tanto pulmões quanto guelras⁹. A razão é que o propósito do pulmão é resfriar por meio do alento... e o das guelras resfriar pela água; um órgão é suficiente para um fim e um meio de resfriamento é suficiente para cada animal. Assim, portanto, vemos que a natureza nada faz em vão e que, se existissem dois órgãos, um deles seria inútil; por essa razão, algumas criaturas possuem pulmões e outras guelras, mas nenhuma tem ambos (ARISTÓTELES, *Sobre a respiração*, 47a 5-15).

Aristóteles tenta explicar o motivo pelo qual os peixes morrem fora d'água e os animais com pulmões na água:

⁹Na verdade, existem exceções, que Aristóteles não conhecia. Há anfíbios que, mesmo na fase adulta, possuem brânquias além dos pulmões e peixes capazes de viver na lama, dotados de pulmão (OGLE 1897 p. 34). Aristóteles trabalha com base nos dados de que dispõe, realizando generalizações que ele percebe claramente como provisórias, já que afirma: "Até agora...".

Por esses fatos podemos facilmente ver porque os animais que respiram ficam sufocados na água e os peixes no ar: pois os últimos obtêm resfriamento pela água e os primeiros pelo ar; e, quando mudam seus ambientes, cada tipo é privado de seu meio de resfriamento (ARISTÓTELES, *Sobre a respiração*, 479b 8-12).

Este é um ponto delicado da teoria: se tanto a água quanto o ar são bons agentes resfriadores, não seria possível substituir um pelo outro? Aristóteles não discute detalhadamente a questão; mas pode-se argumentar a seu favor da seguinte forma: os pulmões não são adequados para absorver e expulsar água, por isso os animais com pulmão não conseguem se resfriar com água e morrem sufocados (e, aliás, com uma sensação de calor); por outro lado, os peixes poderiam movimentar o ar com as guelras, mas o ar não resfriaria suficientemente o sangue e, por isso, eles morreriam¹⁰.

6.3 Os tipos de animais com pulmões

Na escala dos animais mais ou menos perfeitos, Aristóteles indica como superiores os vivíparos – os mais quentes – e, em situação intermediária – menos quentes – os ovíparos, que também são quentes, mas não tanto quanto os primeiros. Ambos os grupos são dotados de pulmões, mas suas necessidades de refrigeração são diferentes. Por isso, seus pulmões são diferentes:

Há muitas diferenças nos pulmões. Alguns animais possuem grandes pulmões, que contêm sangue. Outros possuem (pulmões) pequenos e esponjosos. Nos vivíparos é grande e possui muito sangue porque essas criaturas possuem uma natureza quente. Nos ovíparos é seco e pequeno, mas pode se expandir até um grande tamanho, quando inflado¹¹. Eis alguns exemplos: entre os animais terrestres, os quadrípedes ovíparos como lagartos, tartarugas e todas as criaturas semelhantes, além dos animais alados, as aves. Todos esses possuem pulmão esponjoso que, como espuma, se recolhe e contrai de um grande volume para um pequeno. Assim, ele pode ser considerado pequeno. E é também membranoso. Por isso, essas criaturas possuem pouca sede e bebem pouco; e suportam permanecer um longo

¹⁰De acordo com a moderna teoria da respiração, tanto os pulmões quanto as brânquias servem para realizar trocas gasosas, absorvendo oxigênio e expelindo gás carbônico. Por que, então, os peixes morrem fora d'água? Embora o problema não esteja totalmente esclarecido, Spallanzani mostrou que as guelras podem funcionar no ar; no entanto, fora d'água, as guelras se fecham e aglomeram, reduzindo a área exposta ao ar e tornando-se pouco eficientes (OGLE 1897, pp. 19-20 e p. 44).

¹¹A descrição dos pulmões, por Aristóteles, é, em geral, acurada. Na descrição anatômica da *História dos animais*, ele descreve corretamente que os pássaros possuem dois pulmões separados e que a maior parte das cobras possui um só pulmão com um tubo fibroso; no entanto, aqui comete um erro, pois os pulmões dos pássaros não são pequenos comparados com seu porte e contêm muito sangue (LONES 1912, p. 151).

tempo sob a água. Isso é porque seu calor é fraco e pode, portanto, ser suficientemente resfriado durante um longo período pelo mero movimento do pulmão, que é vazio e aéreo (ARISTÓTELES, *Partes dos animais*, 669a 24 - b 2).

Por um lado, como já observamos antes, Aristóteles utiliza grande número de descrições e generalizações empíricas, tais como: a) os vivíparos são mais quentes do que os ovíparos; b) os ovíparos possuem pulmões pequenos, que podem se expandir muito, que possuem pouco sangue e que são membranosos - e os vivíparos possuem as características opostas; c) os ovíparos bebem pouca água (podem viver muito mais tempo sem beber) e os vivíparos bebem muita água; d) os ovíparos podem ficar muito tempo sem respirar, ao contrário dos vivíparos. Além disso, Aristóteles *explica* esses fatos e generalizações.

É interessante que Aristóteles estava atento para o estudo de possíveis exceções. Suas generalizações não eram apressadas ou descuidadas. À primeira vista, pode parecer que as tartarugas e outros animais semelhantes, embora dotados de pulmão, pudessem ficar indefinidamente sob a água. Mas Aristóteles parece ter feito uma experiência sobre isso:

É facilmente observável que todos os animais com pulmões respiram; desses, os que possuem pulmões sem sangue e esponjosos necessitam respirar menos do que os outros; e é por isso que eles podem permanecer muito tempo sob a água, por sua força corporal. Todos os animais ovíparos, como o gênero da rã, possuem pulmão esponjoso. Tanto as tartarugas marinhas quanto as de água doce vivem sob a água muito tempo, pois o pulmão, contendo pouco sangue, possui pouco calor; assim, quando inflado, causa por seu próprio movimento um efeito de resfriamento e permite à tartaruga permanecer um longo tempo sob a água. Mas se for mantido muito tempo embaixo (da água), um animal desse tipo se afoga; pois nenhum desses animais pode inalar água como os peixes (ARISTÓTELES, *Sobre a respiração*, 470b 13-24; ver também 475a 22-28).

Em outro ponto, ele indica também outra evidência de que esses animais, embora aquáticos, precisam respirar:

A respiração é também empregada pelos animais que vivem e passam seu tempo na água, como os dos gêneros da cobra aquática, rã, crocodilo e tartaruga de água doce; e também tartarugas marinhas e terrestres, e focas. Todos esses animais e seus semelhantes dão à luz a seus filhotes sobre a terra seca e dormem ou na terra ou na água com sua boca acima da superfície, para respirar (ARISTÓTELES, *Sobre a respiração*, 475b 27-30).

6.4 Os cetáceos

Um caso especial interessante é o dos cetáceos: são mamíferos que vivem na água e que se assemelham a peixes, como as baleias e os golfinhos. Aristóteles os estudou em detalhe, estabelecendo suas diferenças em relação aos peixes, seu modo de reprodução, etc.¹². Ele mostra também, que os cetáceos se enquadram na sua teoria de respiração:

Todos os animais terrestres (dotados de sangue) respiram; o mesmo ocorre com alguns animais aquáticos (por exemplo, a baleia, o golfinho e todos os cetáceos) (ARISTÓTELES, *Partes dos animais*, 669a 9-10).

Golfinhos e baleias e todos os outros cetáceos, no entanto, não possuem guelras, pois possuem pulmão, mas possuem um orifício de sopro. Não podem evitar que a água do mar entre na boca, pois se alimentam na água; e, uma vez que a água entrou, precisa sair, e isso eles fazem por meio do orifício de sopro. Guelras, por outro lado, são úteis para as criaturas que não respiram. A razão para isso foi indicada em meu livro "Sobre a respiração". Nenhuma criatura que respira pode ter guelras; os cetáceos possuem um orifício de sopro para livrar-se da água. Está colocado na frente do cérebro, caso contrário separaria o cérebro da espinha. A razão pela qual essas criaturas possuem pulmão e respiram é que grandes animais necessitam de mais calor para se mover; consequentemente, possuem dentro de si um pulmão cheio de calor retirado do sangue (ARISTÓTELES, *Partes dos animais*, 697a 17-28).

O principal ponto que Aristóteles procura estabelecer, aqui, é que os cetáceos não possuem um processo de refrigeração por água. Eles absorvem água ao se alimentar e a ejetam pelo buraco superior que possuem, mas, como essa água passa perto do cérebro (que é frio) e não do coração (que é quente), o processo não tem a função de resfriamento. Em outro texto, ele mostra também que os cetáceos morrem quando impedidos de respirar na superfície:

Poderia ser levantada uma dificuldade sobre os cetáceos, entre os animais aquáticos - isto é, golfinhos e baleias e todas as outras criaturas que possuem aquilo que é chamado orifício de sopro. Mas há uma explicação racional também para eles. Não possuem pés, mas possuem pulmões e no entanto absorvem água. Mas a razão disso é a que já foi dada: pois não é para refrigeração que eles aspiram água. Seu resfriamento ocorre quando respiram, pois possuem pulmões. É por isso que dormem com suas bocas fora d'água - e pelo menos os golfinhos roncam. Além disso, se são presos em redes, eles rapidamente sufocam, porque não podem

¹² Aristóteles foi o primeiro a caracterizar o grupo dos cetáceos e muitas de suas informações sobre eles são mais detalhadas do que as proporcionadas por qualquer naturalista posterior (LONES 1912, pp. 250-1).

respirar, e são vistos vindo até a superfície do mar para respirar. Mas como eles se alimentam na água, precisam aspirar água e depois expeli-las e é por isso que possuem um orifício de sopro: depois de aspirar água eles a expõem pelo orifício de sopro, com os peixes o fazem pelas guelras¹³. A posição deste orifício o prova: pois não leva a nenhuma parte com sangue, mas fica adiante do cérebro e daí expõe a água (ARISTÓTELES, *Sobre a respiração*, 476b 13-30).

6.5 A refrigeração dos peixes

Somente no caso da refrigeração dos animais dotados de pulmão Aristóteles aplica o nome: "respiração":

Todos os animais cujo pulmão contém muito sangue dependem mais da respiração, por causa da quantidade de seu calor; mas nenhuma das outras criaturas desprovidas de pulmão respira (ARISTÓTELES, *Sobre a respiração*, 470b 25-27).

O processo de respiração é a inspiração e expiração de ar; e Aristóteles considera que, no caso dos peixes, o ar não tem função nenhuma. Como já foi indicado, é através das guelras que se processa a aspiração e eliminação de água:

Todos os que possuem guelras, como no gênero do tubarão e de todos os outros animais sem pés, resfriam-se absorvendo água (ARISTÓTELES, *Sobre a respiração*, 476a 1-3).

Assim como no caso dos animais dotados de pulmões, existem diferenças de calor e de necessidade de resfriamento entre os peixes:

Alguns peixes possuem muitas guelras; outros, poucas. Alguns possuem duplas, outros, simples. A última é, quase sempre, única (para detalhes precisos, consultar os tratados anatômicos e a *História dos animais*)¹⁴. O número de guelras depende da quantidade de calor no coração. Quanto mais calor um animal possui, mais rápido e mais forte deve ser o movimento de suas guelras; e se as guelras

¹³A descrição de Aristóteles não é totalmente correta, embora tenha sido aceita até por Cuvier. No entanto, o esguicho que sai do orifício das baleias e outros cetáceos, quando vão à superfície, parece ser produzido apenas pela umidade que é expulsa pelo animal ao expirar (ver OGLE 1897, p. 127).

¹⁴Costuma-se assinalar (LONES 1912, p. 25, p. 152) que Aristóteles cometeu muitos enganos ao contar o número de guelras de vários tipos de peixes *História dos animais*, livro II, cap. 9, esp. seção 4). No entanto, deve-se levar em conta que é difícil identificar muitos dos nomes utilizados por Aristóteles e que talvez ele estivesse se referindo a outros peixes, já que não há motivo razoável que pudesse levá-lo a enganar-se nessa contagem.

são numerosas e duplas, são mais adequadas para isso do que se fossem poucas e simples. E por isso, alguns peixes (por exemplo, as enguias e os peixes serpentes) que precisam apenas de pouco resfriamento – como é mostrado por possuírem apenas poucas guelras fracas – podem viver longo tempo fora d'água (ARISTÓTELES, *Partes dos animais*, 696b 13-23).

É interessante que, antes de Aristóteles, Anaxágoras e Diógenes haviam sugerido que os peixes respiravam, retirando ar da água. Aristóteles ataca essa teoria, dando argumentos importantes: 1) a explicação fornecida por ele para a inspiração (absorção de ar) não permite explicar a expiração (expulsão de ar), por problemas mecânicos; 2) os peixes precisariam ter algum órgão que armazenasse o ar inspirado, e não possuem; 3) os peixes poderiam viver fora d'água, se pudessem respirar; 4) os peixes não expiram, senão veríamos saírem bolhas de ar de sua boca ou guelras:

Anaxágoras e Diógenes, afirmando que todas as criaturas respiram, descrevem o modo pelo qual peixes e ostras respiram. Anaxágoras diz que peixes respiram inspirando o ar que entra em sua boca quando emitem água por suas guelras, pois não pode existir um vácuo; Diógenes diz que quando expulsam a água pelas guelras, atraem o ar da água em torno da boca, pelo vácuo na boca; o que implica que existe ar na água. Mas tudo isso é impossível. Antes de tudo eles deixam de fora a metade dos fatos, restringindo-se a um lado de um processo duplo. Pois aquilo que é chamado de respiração inclui exalação além de inalação. Mas eles não mencionam a primeira, ou seja, como esses animais exalam. Nem podem explicá-lo. Quando os animais inspiram, devem exalar novamente pelo mesmo caminho pelo qual respiraram, e assim alternadamente. Portanto, deveriam ao mesmo tempo aspirar água pela boca e exalar (o ar). Mas uma operação deve claramente obstruir a outra. Ou então, quando expõem a água, estão ao mesmo tempo exalando pela boca ou pelas guelras, de tal modo que devem exalar e inspirar ao mesmo tempo – pois eles dizem que é esse o movimento em que respiram. Mas é impossível inspirar e exalar ao mesmo tempo. A conclusão é que, se as criaturas que respiram devem tanto exalar quanto inalar, e se nenhum deles (dos peixes) pode exalar, nenhum pode respirar.

Além disso, dizer que tiram o ar da boca, ou da água pela boca, é impossível. Pois, como não possuem pulmão, não possuem traquéia; o estômago está próximo à boca, de tal modo que devem aspirar o ar pelo estômago. Mas, então, todas as outras criaturas vivas fariam o mesmo; e, de fato, não o fazem. Além disso, veríamos os peixes fazê-lo quando estivessem fora da água; mas, obviamente, eles não o fazem,... Além disso, quando qualquer animal que respira morre afogado na água, sobem bolhas de ar, expelidas violentamente; por exemplo, se tartarugas, rãs, ou qualquer outra coisa desse tipo for retirada embaixo (da água) pela força; mas isso não acontece (não saem bolhas de ar) no caso dos peixes, tente-se como se quiser. Isso mostra que não tiram ar de fora (ARISTÓTELES, *Sobre a respiração*, 470b 31 –417b 5).

Aristóteles indica também que, se houvesse ar na água e se ele pudesse ser inspirado, os homens e outros animais com pulmões também poderiam fazê-lo¹⁵

Os argumentos de Aristóteles eram muito fortes e irresponsáveis. Seria preciso um longo aperfeiçoamento da teoria de Anaxágoras e Diógenes para torná-la aceitável. É verdade que nem todos aceitam, neste ponto, a teoria de Aristóteles: Plínio, o velho, afirma que os peixes devem respirar, já que sentem odores (PLINIUS, *Natural history*, livro IX, cap. 6). A objeção não é forte: Aristóteles já a previa e explicava o "olfato" dos peixes como devido ao transporte dos "odores" (na verdade, sabores) pela própria água (*Sobre a alma*, livro II, caps. 9-10).

Pode-se dizer que a teoria da refrigeração dos peixes, de Aristóteles, era bastante satisfatória, explicando e correlacionando muitos fatos. Pelo contrário, a alternativa de Anaxágoras e Diógenes era inaceitável.

6.6 A refrigeração dos animais sem sangue

Os animais sem sangue (insetos, moluscos, etc.) são os mais frios, na escala de perfeição. Por isso, eles não precisam de órgãos internos onde penetre o fluido refrigerador; basta resfriamento externo:

Quanto aos animais sem sangue, então, afirmamos que eles são ajudados a viver em alguns casos pelo ar circundante e, em outros, pela água (ARISTÓTELES, *Sobre a respiração*, 475b 15-16).

Como os animais ou vivem na água ou passam seu tempo na terra, o resfriamento dos que são desprovidos de sangue e muito pequenos, pelo envoltório circundante - seja água ou ar - é suficiente para protegê-los contra destruição desse tipo (pelo calor interno); pois, como contêm pouco calor, precisam de pouca proteção. Portanto, também, quase todos esses animais vivem pouco. Pois, sendo pequenos, possuem pouca margem em qualquer direção (ARISTÓTELES, *Sobre a respiração*, 474b 25-31).

Como, no caso desses animais, a refrigeração é menos importante, eles podem resistir a alterações de ambiente durante tempos maiores. Assim, os insetos podem sobreviver dentro d'água e os crustáceos fora dela:

¹⁵Foi apenas no século XVII que se estabeleceu a existência de ar na água comum: através de estudos de Boyle, Mayow e Jean Bernoulli, verificou-se que, aquecendo-se a água (mas sem levá-la à ebulição) são desprendidas pequenas bolhas de ar; e que os peixes não sobrevivem em água que foi fervida (e privada de ar) e depois resfriada rapidamente, sem aeração. (Ver OGLE 1897, pp. 18-9).

Afirmamos antes que, dentre as criaturas vivas, os insetos não respiram e isso é evidente no caso dos pequenos, como moscas e abelhas; pois podem se mover em um líquido por longo tempo, se não for muito quente ou muito frio...; mas perecem e diz-se que se afogaram quando o ventre se enche e o calor em seu peito se extingue. No entanto, revivem depois de ficar algum tempo entre cinzas.

Dos animais aquáticos, também, os desprovidos de sangue podem viver mais tempo no ar do que os que possuem sangue e aspiram água, como os peixes; pois, como contém apenas uma pequena quantidade de calor, o ar pode mantê-los vivos por um tempo considerável, especialmente os crustáceos e a lula (ARISTÓTELES, *Sobre a respiração*, 475a 29 - b 10).

No caso dos crustáceos, Aristóteles cometeu um engano importante. Eles possuem guelras e um mecanismo semelhante ao dos peixes. Talvez por possuir confiança excessiva em sua teoria, Aristóteles não reconheceu essas guelras, embora houvesse observado que eles aspiram e expelem água¹⁶. Ele afirma que esse processo é como o dos cetáceos: relacionando à nutrição e não à refrigeração:

É pela mesma razão que os moluscos e os crustáceos absorvem água - isto é, as criaturas como as lagostas e os caranguejos. Nenhum deles precisa de resfriamento, pois cada uma dessas espécies é de baixa temperatura e desprovida de sangue. Assim, são suficientemente resfriados pela água circundante. Mas absorvem água ao se alimentar... Os crustáceos, como o caranguejo e a lagosta, expelem a água pelas dobras, nas partes em que possuem pêlos, mas a lula e o pólipo o fazem por um orifício acima daquilo que corresponde à cabeça (ARISTÓTELES, *Sobre a respiração*, 476b 31 - 477a 6).

No caso dos insetos, Aristóteles estabelece alguns fatos bastante interessantes. Como não possuem pulmão nem qualquer órgão correspondente¹⁷, é claro que não podem falar nem produzir sons semelhantes aos animais com pulmões. Mas vários insetos produzem sons. Não seria isso uma indicação de que eles possuem um mecanismo semelhante à respiração? Aristóteles investiga esse problema:

Os insetos não possuem voz nem fala, embora produzam som por seu *pneuma* interno - não pelo *pneuma* emitido externamente, pois nenhum deles respira. Mas alguns deles zumbem, como por exemplo a abelha e outros insetos alados;

¹⁶Em duas passagens, Aristóteles parece ter observado brânquias em invertebrados, como caranguejo e lagosta, mas não lhes atribuiu o seu significado correto (ARISTÓTELES, *História dos animais*, livro IV, caps. 1-3; *Partes dos animais*, livro IV, cap. 8).

¹⁷Os insetos possuem um sistema respiratório muito diminuto, que só foi descoberto com o uso do microscópio, por Malpighi, em 1688. Descobriu-se também que algumas aranhas (que Aristóteles classificava como insetos) possuem órgão semelhantes ao pulmão. (Ver OGLE 1897, p. 37).

e alguns "cantam", como se costuma dizer, como a cigarra. Todos esses insetos produzem o som por meio de uma membrana que está sob o *hypozyoma*, no caso dos que possuem uma fenda aqui (no ventre), como certo tipo de cigarra que faz o som pela fricção do *pneuma*. O mesmo ocorre com vespas e abelhas e todos os outros que, por seu vôo, produzem o movimento de levantar e contrair: o som é realmente a fricção do *pneuma* interno. O ruído produzido pelos grilos é produzido pelo esfregar de suas patas. (ARISTÓTELES, *História dos animais*, 535b 5-12).

O *pneuma* interno é um intermediário entre a alma ($\psi\upsilon\chi\eta$) e a matéria. É uma espécie de órgão ou instrumento do movimento, com propriedades semelhantes ao ar: é capaz de se dilatar e contrair, produzindo as pulsações do coração e todos os outros movimentos. A alma move o *pneuma* e o *pneuma* move o corpo (ver *Sobre a alma*, parte 3, 433b 18 e seguintes). Esse *pneuma* se move dentro do corpo dos insetos, produzindo os vários fenômenos vitais e, ao mesmo tempo, contribuindo para a refrigeração do animal. Ele produz vibrações de uma membrana existente em certa fenda existente no ventre de vários insetos, produzindo assim seus sons e zumbidos. Aristóteles supõe que as asas não produzem som: mas o inseto, ao voar, exige uma maior atividade do *pneuma* interno e, por isso, o zumbido se torna audível (ver *Sobre o sono e a vigília*, 456a 11 e seguintes).

Aristóteles vai mais longe e estabelece uma relação entre o zumbido e outras características dos insetos, estabelecendo uma conexão com a teoria da refrigeração:

Todos os insetos que possuem vida longa... são fendidos no peito, de modo que podem ser resfriados através da membrana, que é mais fina ali; pois, sendo anormalmente quentes, necessitam de maior resfriamento. Tal ocorre com as abelhas (pois algumas abelhas vivem até sete anos) e todos os outros insetos que zumbem, como vespas, bezouros e cigarras¹⁸. Produzem o zumbido pelo alento, como animais arfando, pois o *pneuma* interno deles, subindo e descendo no peito, produz fricção contra a membrana. Eles movem essa região exatamente como os animais que inalam seu alento de fora fazem com o pulmão e os peixes com suas guelras. É semelhante ao que aconteceria se sufocássemos um animal que respira, fechando sua boca; pois ele também fará esse movimento arquejante com os pulmões. Mas neles tal movimento não produz resfriamento suficiente, e naqueles o faz. É pela fricção contra a membrana, como dissemos, que eles produzem seu zumbido, assim como os garotos fazem com tubos perfurados com buracos, sobre os quais colocam uma fina membrana. É assim que fazem as cigarras que cantam, pois são

¹⁸Na verdade, as abelhas e moecas não possuem essa membrana vibrante. Existem diferentes processos de produção de som pelos insetos. Os pernilongos fazem seu zumbido pela vibração das asas (ARISTÓTELES, *História dos animais*, 628b 19). As abelhas, pela expulsão de ar em seu aparelho respiratório, desconhecido por Aristóteles.

criaturas muito quentes e possuem uma fenda no peito; mas nas que não cantam não há fenda¹⁹. (ARISTÓTELES, *Sobre a respiração*, 475a 1-21).

Essa observação sobre as cigarras é correta. E com ela encerramos essa exposição da teoria aristotélica da respiração e da refrigeração. Seria possível adicionar muito mais, pois o tema se relaciona a outros e se ramifica, na obra de Aristóteles. Poderíamos mostrar sua descrição do aparelho respiratório, do coração, das guelras; poderíamos discutir sua explicação do mecanismo da pulsação e da inspiração e expiração – e muitos outros temas correlatos. Mas o material apresentado é suficiente para permitir vislumbrar a extrema riqueza da obra biológica de Aristóteles.

7 A ANÁLISE DA METODOLOGIA DE ARISTÓTELES

Apesar de seu amplo conhecimento de fatos anatômicos e mesmo fisiológicos, Aristóteles elaborou uma teoria da respiração que foi depois substituída por outra completamente diferente. Pode-se questionar então: onde Aristóteles errou? Era sua metodologia inadequada? Possui sua teoria algum valor, se era errada? Haveria, na época, um outro procedimento que ele poderia ter adotado? Não teria sido melhor que ele se limitasse a descrever os fatos, sem teorizar? Era seu trabalho científico?

O que está em questão é a metodologia de Aristóteles e seu valor. Qualquer análise desse tipo deve se basear em uma posição teórica, explícita ou implícita. É preferível que a posição adotada seja explícita, para maior clareza e para que o leitor não seja confundido ou manipulado.

A análise que será aqui desenvolvida baseia-se em um ponto de vista geral que pode ser denominado “abordagem axiológica não proibitiva” (MARTINS, *Sobre o papel dos “desiderata” na ciência*). Essa abordagem estabelece escalas metodológicas de valor, através de esquemas de variedades metodológicas hierarquizadas. Essas escalas permitem atribuir valores científicos positivos, maiores ou menores, aos elementos científicos; mas não permitem a atribuição de valores negativos ou de proibições metodológicas.

Utilizando-se essa abordagem, não cabe discutir se o trabalho de Aristóteles era científico ou não. A abordagem axiológica não proibitiva elimina a dualidade científico x não científico. Ela nos permite, no caso, descrever metodologicamente

¹⁹No caso das cigarras, conforme corretamente observado por Aristóteles, apenas os machos “cantam”: nas fêmeas a membrana vibrante não é bem desenvolvida (ARISTÓTELES, *História dos animais*, livro V, cap 24). Baseando-se nisso, Xenarchos escreveu: “Felizes vivem as cigarras [- macho], pois suas esposas não falam” (*apud* OGLE 1897, p. 123).

o trabalho de Aristóteles, verificando as variedades metodológicas preenchidas por sua pesquisa; descrever as lacunas de seu trabalho, indicando variedades metodológicas que não foram utilizadas por ele; descrever, metodologicamente, o que foi necessário realizar para chegar à teoria atualmente aceita; e verificar se houve uma divergência metodológica (se o tipo de método utilizado por Aristóteles, na época, era incompatível com o método que poderia levar aos resultados hoje aceitos), uma insuficiência metodológica (se o tipo de método empregado por Aristóteles era um sub-conjunto do método que poderia levar à teoria atual), etc. Nessa análise ficará também claro por que alguns elementos da obra de Aristóteles possuem valor científico, por que outros são mais valiosos, etc.

7.1 Generalizações observacionais e observações singulares

Aristóteles raramente – ou, talvez, nunca – utiliza descrições de observações singulares ou descrições protocolares do tipo “o indivíduo x observou y no local z no tempo t”, nem mesmo sob suas formas incompletas. Suas descrições se referem a *classes* de objetos e são, sob o ponto de vista lógico, uma generalização de observações singulares, como, por exemplo:

“Todos os animais sanguíneos possuem cérebro”

“O cérebro é a parte mais fria de todo o corpo”

“O tato mostra que o cérebro é frio”

Essas generalizações (por exemplo, a última) podem ser expressas sob a forma: “Todas as pessoas, em todos os locais, em todos os tempos, se tatearem o cérebro de qualquer animal imediatamente após sua morte, perceberão que o cérebro é frio.” A fundamentação empírica de uma generalização desse tipo será dada por casos particulares de observações atribuídas a alguém, como por exemplo: “Todos os cachorros e cavalos que observei imediatamente após sua morte, tateando seu cérebro, tinham o cérebro sensivelmente frio.” No entanto, Aristóteles nem afirma ter realizado essas observações, nem as atribui a alguém: ele enuncia a generalização e, em alguns lugares, sugere que o leitor se dedique a dissecações para verificar o que está sendo descrito.

Este interessante aspecto do trabalho de Aristóteles mostrou, por um lado, que ele próprio não estava impondo sua autoridade, mas propondo que o próprio leitor se certificasse de suas afirmações. Por outro lado, isso dificulta avaliar a fundamentação em que Aristóteles se baseava: teria ele próprio feito as observações? Ou as tomou de algum outro autor? Ou de auxiliares? Ou de informações vagas e populares? Em muitos casos, é difícil saber. Como Aristóteles pode afirmar

que os golfinhos roncam? Talvez ele tenha observado algo desse tipo; talvez fosse uma estória contada por marinheiros. Em certos casos, é bastante provável que ele tenha, de fato, feito as observações (por exemplo, nas descrições anatômicas); em outros casos, é bastante plausível que pelo menos o ponto de partida tenha sido uma informação indireta (por exemplo, a de que os golfinhos morrem afogados quando ficam presos nas redes, sob a água) – embora talvez Aristóteles tenha depois verificado pessoalmente essas informações.

Seja como for, é importante enfatizar que Aristóteles não dá, normalmente, a fonte de suas informações e não descreve observações singulares. Esta é uma lacuna na apresentação de suas informações. Seria desejável que ele apresentasse essas descrições.

7.2 Propriedades atribuídas a classes mais ou menos amplas

No estudo da respiração, o objeto de investigação é a classe dos animais (embora ele se refira também às plantas, omitimos esse aspecto no presente trabalho). Os animais estão subdivididos em diferentes grupos, alguns dos quais estão incluídos em outros (por exemplo, as aves formam um sub-conjunto dos animais que respiram; e estes são um sub-conjunto dos animais dotados de sangue). As generalizações observacionais de Aristóteles às vezes se referem a todos os animais (“Todos os animais contêm algum calor inato”) ou a sub-conjuntos de algum nível, chegando, em certos casos, às espécies (“As tartarugas, quando mantidas longo tempo sob a água, morrem afogadas”).

Aristóteles procura, quase sempre, realizar um estudo sistemático de todo o reino animal. Procura características presentes nas classes mais amplas; quando certa característica não se aplica à classe mais ampla, ele a compara com as características de outras classes do mesmo nível, mostrando diferenças ou semelhanças. Por exemplo: “Todos os animais possuem sangue ou algo que realiza a sua função” (e o mesmo, em relação ao coração); “Dos animais sanguíneos, alguns possuem pulmões; todos os animais sanguíneos que não possuem pulmões possuem guelras; e nenhum animal possui tanto guelras quanto pulmões”.

Essa tentativa de caracterizar cada grupo e sub-grupo, sistematicamente, é constante em Aristóteles. No caso que nos ocupa (teoria da respiração), podemos notar isso:

a. todos os animais: possuem calor interno, que é mais forte no centro do corpo (no coração ou em um órgão equivalente); esse calor interno deve ser mantido e impedido de auto-destruir-se, através de algum sistema de resfriamento.

b.1 no caso dos animais com sangue, o resfriamento é realizado por um fluido do

ambiente que é aspirado e depois expirado por um órgão adequado; eles são os mais quentes; possuem coração.

b.2 no caso dos animais sem sangue, que são menos quentes, o resfriamento é realizado externamente (o fluido do ambiente não é aspirado e expirado).

c.1.1 todos os animais com sangue que vivem na terra, ou anfíbios, ou cetáceos, possuem pulmões e respiram (aspiram e expelem ar); morrem se são impedidos de respirar; são os mais quentes; seus pulmões ficam próximos ao coração e interligados a ele por certos tubos.

c.1.2 todos os animais com sangue que vivem permanentemente na água e não respiram (peixes) possuem guelras e aspiram e expelem água; morrem se são impedidos de realizar esse resfriamento pela água; são intermediários, em relação a seu calor; as guelras ficam próximas ao coração e são interligadas a ele por vasos sanguíneos.

c.2.1 no caso dos animais sem sangue, os insetos de vida mais longa são mais quentes; eles possuem uma fenda no ventre; essa fenda tem uma membrana que vibra e produz um som (zumbido, canto da cigarra, etc.); essa vibração serve para auxiliar seu processo de resfriamento.

c.2.2 os outros animais sem sangue não possuem nenhuma fenda no ventre nem outro órgão que produza resfriamento; são os mais frios de todos; são refrigerados apenas pelo ar ou água circundante.

d.1.1.1 alguns animais sanguíneos que respiram possuem pulmões com grande irrigação sanguínea; são os mais quentes de todos;

d.1.1.2 outros animais sanguíneos, mais frios, possuem pulmões com menor irrigação sanguínea; nesse caso, os pulmões são membranosos, pequenos (mas podendo se expandir muito) e esponjosos; esses animais podem ficar mais tempo sem respirar (por exemplo, tartarugas);

d.1.2.1 alguns peixes, mais quentes, possuem guelras duplas (e vários pares delas);

d.1.2.2 os peixes menos quentes possuem menor número de guelras e elas são simples.

Embora exista essa tendência ao estudo sistemático das propriedades nos vários grupos de animais, nem sempre Aristóteles o realiza. Por exemplo: ele afirma que as pessoas, quando estão quentes, respiram mais depressa; mas não afirma se isso é válido para todos os animais que respiram; não diz se ocorre algo semelhante para os peixes (fica o movimento das guelras mais lento?) ou para os insetos (vibração, no caso dos que possuem a fenda no ventre). Indica que, na respiração, o ar exalado é mais quente do que o inalado, mas não discute se ocorre algo equivalente no caso dos peixes.

Essa é uma lacuna “quantitativa”, em Aristóteles. Ele realiza comparações sistemáticas entre os vários tipos de animais; mas não o faz *sempre* e seria desejável que o fizesse.

7.3 Diferentes tipos de características e relações

Aristóteles apresenta descrições que correspondem a vários tipos de propriedades e relações dos animais ou de seus órgãos, em suas obras biológicas. Como estamos nos limitando àquilo que se refere mais diretamente à respiração (e ao resfriamento), não foram exemplificados muitos dos tipos de descrições utilizadas por Aristóteles para outros fins. Mas alguns tipos aqui apresentados podem ser diferenciados:

7.3.1 Características globais dos animais e suas relações com o ambiente: Aristóteles descreve espécies de animais que são (nos textos citados) implicitamente identificados por sua aparência e características externas gerais: tartarugas, aves, peixes, caranguejos, etc. Em outras obras, faz descrições bastante detalhadas de suas características e modo de identificação. No nosso caso particular, Aristóteles se refere a algumas espécies ou grupos mais amplos e indica algumas características globais importantes (vida longa ou curta; animal quente ou frio) e relações relevantes com o ambiente (vive na água, ou na terra, ou em ambos). Algumas dessas descrições envolvem características comparativas (os animais com pulmões são *mais quentes* do que os dotados de guelras) e outras são “absolutas”, no sentido de não comparar diferentes animais (por exemplo, ao dizer que todos os animais são quentes, Aristóteles parece estar indicando que eles se mantêm a uma temperatura superior à do ambiente).

7.3.2 Partes dos animais: Aristóteles descreve características de alguns órgãos relevantes (o cérebro é frio; o coração é cheio de sangue e é quente, etc.) e suas relações com outras partes ou com o ambiente (o coração fica próximo aos pulmões; as guelras aspiram e expiram água). Novamente, existem descrições comparativas e “absolutas”. Em nosso caso, as principais características e relações eram as mais relevantes para o tema estudado: propriedades como calor ou frio, possuir ou não sangue; relações como estar ou não conectado ao coração, aspirar e expirar água ou ar.

As características estudadas por Aristóteles são ou qualitativas, ou semi-qualitativas (comparações de “graus”, maior ou menor, etc.) ou numéricas (quantidade de guelras, de veias, etc.). Aristóteles parece não ter realizado *medidas* de peso, volume ou tempo – embora já se soubesse como medir essas grandezas.

Assim sendo, não se pode saber até que ponto possuía fundamento, por exemplo, sua distinção entre insetos grandes e pequenos – os primeiros possuindo a fenda abdominal, etc. Na classificação de Aristóteles, as aranhas são insetos; e existem aranhas muito maiores do que abelhas. Por que elas não produzem zumbidos? Qual o critério para selecionar quais são os *grandes* insetos?

Outro exemplo: quando Aristóteles afirma que os pulmões das aves são pequenos, comparados com seu tamanho: qual o critério usado? E quando ele diz que os animais com pulmões esponjosos e sem sangue podem ficar mais tempo sem respirar: ele mediu esses tempos? Uma ave pode ficar mais tempo sem respirar do que um gato, por exemplo?

Existiam, portanto, certas *medidas* relevantes que não foram realizadas por Aristóteles (ou que, pelo menos, não são descritas por ele).

Uma propriedade que sabemos medir mas que não era mensurável, no tempo de Aristóteles, era a temperatura. Quando ele diz que um animal é mais quente ou “possui mais calor” do que outro, como é feita essa comparação? Em que ele se baseia para afirmar que as abelhas são insetos quentes? Pode ser que ele tivesse algum critério empírico; pode ser que ele estivesse apenas se baseando na própria teoria para afirmar certas coisas. Não o sabemos, por causa dessas lacunas. Era desejável que ele indicasse os critérios de medição ou comparação de várias propriedades – e ele não o fez. Se o tivesse feito, poderia ter descoberto exceções às suas leis.

Embora a falta de estudos quantitativos e o caráter vago das comparações de graus (semi-quantitativos) constituam uma lacuna metodológica em Aristóteles; deve-se dizer a seu favor que ninguém faria mais do que ele na época; e que suas descrições qualitativas são muito detalhadas e claras. As falhas não devem obscurecer os pontos positivos da obra de Aristóteles.

Como não exemplificamos neste trabalho a variedade e o detalhamento das descrições de Aristóteles, é conveniente citar o testemunho de um naturalista moderno a esse respeito. D'Arcy Thompson indica, como exemplo, que pouca coisa poderia ser adicionada, no século XX, à descrição que Aristóteles fez do polvo, calamar, sépia e animais semelhantes; e afirma que, até Cuvier (séc. XVIII-XIX), ninguém havia escrito uma obra zoológica tão completa quanto a de Aristóteles e que, em muitos pontos, Cuvier não o superou (THOMPSON 1913, pp. 17-9). Pode-se também indicar que Lones, ao tentar fazer uma comparação sistemática entre as afirmações de Aristóteles e dados modernos sobre os animais, vê-se muitas vezes diante de falta de estudos recentes sobre alguns assuntos tratados por Aristóteles (ver LONES 1912).

7.4 Estudo de processos e fenômenos

Aristóteles não se limitava a estudar as características anatômicas ou propriedades “fixas” dos animais. Estudava também alguns processos, modificações e fenômenos dos mesmos. A respiração é um movimento: o ar entra e sai; entra frio, sai quente; o ritmo da respiração depende da temperatura ambiente e do aquecimento do animal; os cetáceos aspiram água pela boca e a expõem pelo orifício de sopro; os grandes insetos zumbem quando voam; os animais com pulmões morrem quando ficam submersos na água por muito tempo, etc.

Esse estudo de processos e fenômenos pode ser considerado um estudo fisiológico, como às vezes se observa (THOMPSON 1913, p. 15: “Mesmo sua anatomia logo se torna uma *anatomia animata*, como Haller, poeta e fisiólogo, descreveu a ciência à qual deu o nome de *fisiologie*”). Embora algumas vezes se acuse Aristóteles de se basear apenas em dados anatômicos, isso não é correto.

No entanto, Aristóteles (ou qualquer de seus coetâneos) não estudava os processos internos de animais vivos – com uma exceção: levava em conta aquilo que o próprio homem pode perceber sobre o funcionamento interno de seu organismo. As descrições de processos e fenômenos, quando baseadas em observações, descrevem fenômenos globais ou observados externamente. Alguns processos internos que Aristóteles descreve são inferidos a partir de dados anatômicos, observações de animais mortos, sensações internas dos seres humanos e fenômenos observados externamente. As exceções são poucas: Aristóteles diz que o cérebro é insensível ao tato. Isso provavelmente representa o resultado da experiência de médicos que realizaram operações no cérebro de pessoas vivas e conscientes. Além disso, ele observou o interior de camaleões e tartarugas vivas (*História dos animais*, livro II, caps. 7 e 11; *Sobre a juventude e a velhice*, 468b; *Sobre a geração dos animais*, 765a 26 e 774b 31).

Galeno parece ter sido o primeiro a realizar muitas observações internas em animais vivos. Esse tipo de estudo permitiu, já então, descobrir falhas no conhecimento de Aristóteles. A falta de observações de processos internos de animais vivos pode ser considerada outra importante lacuna da metodologia de Aristóteles.

7.5 Realização de experimentos

Existem tipos de observações em que o observador não atua sensivelmente ou significativamente sobre seu objeto de estudo. Quando há uma ação conjecturada como significativa sobre o objeto de estudo, sobre seu ambiente ou sobre os meios de observação, trata-se de um *experimento*. Pelo experimento podem ser estimulados novos fenômenos, podem ser controladas as condições em que

ocorrem certos processos, pode-se adquirir domínio sobre o objeto de estudo. A presença de experimentos em uma pesquisa aumenta seu valor científico.

Algumas vezes, sugere-se que a diferença essencial entre a metodologia de Aristóteles e a da ciência moderna é que aquele não realizava experimentos. Por um lado, sabe-se que, em suas obras metodológicas (especialmente a "Analítica posterior"), Aristóteles não descreve a metodologia experimental. Mas saber se ele a usou ou não é um problema totalmente diferente, pois ele poderia ter empregado um método sem havê-lo explicitado. É preciso, portanto, examinar a própria prática científica de Aristóteles para decidir a questão.

O primeiro problema, no entanto, é caracterizar de modo claro o que é e o que não é um experimento. Certamente existem diferentes tipos de experimentos, mais ou menos valiosos, sob o ponto de vista científico. Tomemos dois exemplos: dissecar um animal é um experimento? Manter uma tartaruga sob a água até que ela se afogue é um experimento? Creio que, no primeiro caso, costumava-se pensar que se trata de uma observação, mas não de um experimento. No segundo caso, trata-se claramente de um experimento, destinado a testar a teoria aristotélica da respiração, já que, se um animal com pulmões fosse capaz de viver indefinidamente sob a água, a explicação deveria ser alterada.

No entanto, ao invés de criar uma distinção dicotômica entre o que é ou não é um experimento científico "moderno" ou "de alto nível", é conveniente criar-se uma graduação ou hierarquia de experimentos – desde os mais simples e menos informativos, até os mais sofisticados e significativos. Tomaremos como conceito amplo de "experimento" qualquer observação de um objeto em que se atue direta ou indiretamente sobre ele, sobre seu meio ou sobre o processo de recebimento de informações. Essa ação do observador pode ser planejada ou não; pode controlar ou não certo número maior ou menor de fatores ou variáveis; pode acarretar ou não uma alteração do objeto; pode controlar ou não os fenômenos observados; pode estar ou não associada a uma previsão teórica; pode servir ou não servir para distinguir entre duas teorias; e assim por diante. Conforme as características metodológicas do experimento, ele será mais ou menos valioso, sob o ponto de vista científico.

De acordo com essa conceituação, dissecar um animal é realizar um experimento. Matar um animal com uma seta também o é, mas a dissecação tem maior valor científico, por tratar-se de algo que traz maior quantidade de informações sobre o animal. É uma ação planejada, que controla a separação dos órgãos do animal, que altera seu funcionamento (matando-o) e que, no caso de Aristóteles, tem estreita conexão com a marcha da teoria: é relevante estabelecer se as guelras estão ligadas ao coração; se a água aspirada pelas baleias passa pelas proximi-

dades de seu coração; se existe algum animal que possua tanto pulmões quanto guelras; etc.

É claro que existem experimentos mais significativos que poderiam ser realizados, em uma vivissecção, procurando-se atuar separadamente sobre cada órgão, observando efeitos parciais, sem matar o animal. Como já foi dito, Aristóteles não faz isso; faltam-lhe conhecimentos técnicos de como fazê-lo. Por outro lado, teria sido aparentemente possível aperfeiçoar a técnica de dissecação de pequenas partes dos órgãos; a conservação de animais e órgãos em álcool ou aguardente; o uso de corantes para distinguir os vasos sanguíneos, etc. Nada disso foi feito por Aristóteles nem por seus coetâneos.

Há, por outro lado, os experimentos feitos por Aristóteles, tais como tirar o coração de uma tartaruga e observá-la sobreviver algum tempo; cortar insetos em pedaços e observar se as partes sobrevivem ou não; colocar moscas dentro da água para verificar se morrem; etc. Não se pode duvidar que Aristóteles realizasse experimentos. Pode-se, no entanto, pensar em vários experimentos que ele teria condições técnicas de executar, que eram significativos e que, no entanto, ele não realizou. Por exemplo: colocar um animal em um ambiente aquecido acima de sua temperatura corporal e verificar se ele era capaz de sobreviver ou não; encerrar um animal em um recipiente fechado, mantendo esse recipiente refrigerado externamente, e verificar se sobreviveria ou não. Tais experimentos, simples e de enorme importância, não foram realizados por ele.

As vezes admite-se que Aristóteles realizou experimentos, mas tenta-se reduzir sua importância:

Não se deve dar peso ao fato de que Aristóteles, em alguns de seus trabalhos, tratou de experimentos, pois ele formou antecipadamente suas conclusões e fez os experimentos concordarem com o que queria (BACON, *Novum organon*, aforismo 63).

Ao contrário do que desejava Bacon, no entanto, a realização de experimentos deve ser precedida pelo planejamento baseado em uma teoria, não se podendo partir de uma "tabula rasa". Quanto à acusação de falsificar os experimentos, não parece ser verdadeira.

Pode-se dizer que Aristóteles não fez todo o uso que poderia fazer de experimentos. Deve-se apontar que ele não desenvolveu instrumentos materiais ("aparelhos") para seus estudos, por exemplo. Mas não se pode negar que ele tenha feito experimentos significativos, de muitos tipos diferentes. Além disso, deve-se considerar que, na área experimental, seu trabalho parece ser pioneiro – sem precedentes.

7.6 Formulação de conceitos

A linguagem utilizada na ciência é altamente artificial. Mesmo quando são tomados como ponto de partida certos termos de uso comum, o cientista altera seu uso, tornando-o mais preciso, restringindo ou ampliando seu uso, dando-lhe uma definição clara, etc. Pode também ser obrigado a criar termos novos. A elucidação do significado dos termos técnicos e de suas relações mútuas é uma parte importante do trabalho não só teórico mas também observacional e experimental.

Não se costuma colocar em dúvida a capacidade de Aristóteles de estabelecer conceitos, definições e classificações. Nesse sentido, não só o "Organon" apresenta uma discussão metodológica bastante completa, como a prática de Aristóteles constantemente reflete essa preocupação com a clareza conceitual. Muitas das classes de animais distinguidas por Aristóteles conservam até hoje seu nome e definição.

No entanto, nem sempre Aristóteles é bem sucedido em sua análise conceitual. No caso da teoria da respiração, o conceito do calor vital inato e de seu resfriamento são fundamentais. A distinção de diversos *graus* de calor irá dirigir a classificação dos animais em graus de perfeição e determinar seus processos de resfriamento. No entanto, apesar de Aristóteles se preocupar em discutir seu conceito de "quente" (*Partes dos animais*, livro II, cap. 2), ele não é operacional. Isso se deve à mistura de muitas noções imprecisas, que Aristóteles não é capaz de separar claramente. Em certo sentido, para Aristóteles, a pimenta é quente; em outro sentido, o óleo o é; em outro sentido, o fogo é mais quente do que o gelo; e, ainda em outro, uma garrafa cheia de água quente é mais quente do que uma gota da mesma água. A palavra "quente" era ainda, para Aristóteles, um emblema simbólico que amalgamava diferentes idéias – da mesma forma que o termo "pesado" significava, dependendo do contexto: denso, pesado, inerte, grande, contendo muita matéria, aquilo que se move para baixo, etc.

Quando usa a palavra "quente", Aristóteles não está se referindo diretamente à sensação produzida pelo objeto ao ser tocado, mas a algo interno, um ente teórico, não muito claro, que se *manifesta* de diferentes formas (inclusive produzindo a sensação de calor).

Teria sido extremamente útil que Aristóteles criasse um conceito claro de calor, ou vários conceitos distintos, assim como seria desejável dispor de um método para comparar graus de calor de forma clara e inequívoca. Se ele o fizesse, seu trabalho ganharia em precisão e poder – e, também, seria mais sujeito à refutação. Não tendo conseguido fazê-lo, ficou uma lacuna importante em seu trabalho, já que é difícil comparar os graus de calor de uma cigarra e de uma abelha, por exemplo; ou de um peixe e uma cobra. A teoria não permite, então,

previsões bem definidas, em muitos casos.

Deve-se assinalar, em defesa de Aristóteles, que apenas 2.000 anos após seu trabalho começou o esclarecimento do conceito de calor: Bacon ainda classifica a pimenta e os ácidos como "quentes"; e, até hoje, a linguagem comum confunde sob esse termo noções completamente distintas e independentes. Apenas depois da invenção do termoscópio (século XVII) e seu aperfeiçoamento, assim como pelo desenvolvimento da calorimetria, esse conceito se tornou gradualmente claro.

7.7 Busca sistemática de causas

Aristóteles procura conhecer e *explicar* os fenômenos observados com os animais. Qual a causa da respiração? Por que alguns animais possuem pulmões e outros não? E a explicação buscada por Aristóteles, no caso que nos ocupa, é *funcional*: para que serve cada órgão ou processo que ocorre nos seres vivos? Não lhe basta conhecer que certas coisas existem ou ocorrem, nem saber *como são*; ele quer, é verdade, conhecer *também* os mecanismos da respiração – um aspecto que foi omitido no presente estudo, para não torná-lo excessivamente extenso; mas esse conhecimento é apenas um instrumento para se chegar ao conhecimento dos fins.

É importante notar que a busca dessas causas não é uma procura de nomes para coisas ocultas e incognoscíveis, como depois ocorreu na escolástica. Aristóteles não foge aos problemas científicos inventando causas à vontade. Ele procura, pela observação e pela experiência, conhecer os efeitos dos vários processos e suas relações com as funções e atividades do organismo como um todo. O animal sente, cresce, se locomove, se reproduz. Como sua estrutura produz tudo isso?

O próprio Aristóteles, ao descrever as idéias de seus antecessores a respeito da respiração, enfatiza que eles não tentaram descobrir para que serve a respiração; aparentemente, não só em relação a esse fenômeno mas em relação a todo funcionamento orgânico, Aristóteles é um pioneiro na busca desse tipo de explicações. Além disso, ele o faz *sistematicamente*. Ele parte das propriedades e funções mais gerais e estuda as variações e casos particulares, tentando explicá-los. *Todos* os animais possuem calor. Por que? *Alguns* possuem pulmões e respiram. Por que? Alguns pulmões são cheios de sangue, outros não; alguns são esponjosos. Por que? E assim por diante.

Essa busca de uma explicação sistemática é exemplar, em Aristóteles. Estamos atualmente tão acostumados com a busca de uma compreensão sistemática do mundo que podemos deixar de perceber o valor e a originalidade desse aspecto, em Aristóteles. O homem comum pode se contentar com explicações "ad hoc" para cada fato isolado, sem criar uma visão do mundo coerente. Sabemos, no caso

da Geometria, que ela passou por um estágio em que consistia apenas em uma coleção de "receitas" desconexas; Thales e Pitágoras introduziram um início de sistematização dedutiva, mostrando como certas propriedades podiam ser deduzidas de outras – e os "Elementos" de Euclides completaram essa sistematização. Em certo sentido, a teoria biológica de Aristóteles, sistematizando e apresentando uma grande quantidade de observações, assemelha-se à obra de Euclides (que é bastante posterior a Aristóteles). Pode-se dizer que, no campo científico, apenas a matemática grega superou a biologia de Aristóteles (THOMPSON 1913, p. 24).

Pode-se, é claro, apontar também diferenças. Aristóteles não tentou apresentar um sistema dedutivo estruturado sob a forma que seria depois adotada por Euclides. Mas, observe-se: *nem Aristóteles nem qualquer outro biólogo jamais o fez!* A tentativa de axiomatização é algo ausente da biologia – ao contrário do que ocorre na Física. Talvez porque o modelo seguido pelos físicos é o dos geômetras (Euclides, Arquimedes, Ptolomeu), enquanto o modelo dos biólogos é – Aristóteles!

É possível ir ainda além e afirmar: atualmente, a Biologia perdeu o aspecto de explicação sistemática existente na obra de Aristóteles. O conhecimento de detalhes aumentou muito; existem certas explicações particulares muito bem desenvolvidas; mas não existe uma teoria geral dos seres vivos a partir da qual sejam desenvolvidas as explicações particulares das diversas diferenças e fenômenos.

7.8 Busca de alternativas teóricas

Aristóteles, ao propor sua teoria a respeito da respiração, examina e critica idéias de seus antecessores, demolindo suas propostas. Não se sabe, ao certo, se as idéias que ele discute são exatamente como as apresenta ou se está mutilando e deformando as teorias que ataca; mas pode-se afirmar que ele não ignora o que se fez antes dele, e que discute com bastante detalhe as dificuldades de várias dessas teorias, apresentando argumentos observacionais poderosos. Por exemplo: se os peixes extraíssem ar da água, por que motivo não soltam bolhas de ar, ao expirar? Por que motivo morrem fora d'água?

Pode-se criticar Aristóteles, em sua proposta, por não considerar outras alternativas, diferentes de sua própria explicação e das teorias anteriores. De fato, seria desejável que ele buscasse alternativas e as testasse através de observações e experimentos, como fez ao criticar as teorias de seus antecessores. Sem o contraste de alternativas, é difícil até mesmo procurar observações e experimentos que corroborem a teoria proposta.

Aristóteles não apresenta alternativas originais às suas próprias idéias. É difícil imaginar que não lhe tenham ocorrido muitas possibilidades, pelo menos

durante a fase de elaboração de seu trabalho. Mas ele não as apresenta e isso empobrece seu trabalho. Deve-se considerar, como atenuante, que é muito raro, em qualquer trabalho científico, encontrar-se essa busca por alternativas. Nesse sentido, Aristóteles não é inferior aos melhores cientistas modernos. Mas não se pode negar que seja uma lacuna importante em seu método.

7.9 O que faltou a Aristóteles?

A metodologia utilizada por Aristóteles era bastante variada, complexa e desenvolvida. Do nosso ponto de vista atual, foi possível apontar certas lacunas ou aspectos metodológicos pouco explorados por Aristóteles: não cita a fonte de sua informação; não descreve observações singulares; nem sempre compara o que ocorre em diferentes circunstâncias ou classes de animais; não faz estudos quantitativos; quase não faz observações e experimentos sobre os *processos* internos dos animais; não desenvolve instrumentos de observação; não faz estudos químicos dos processos biológicos.

Em parte, as lacunas são conseqüências de limitações da época: não se podia fazer um estudo químico dos processos biológicos, pois a química era ainda muito pobre; não era possível fazer experimentos internos em animais vivos por falta de recursos técnicos; etc. De qualquer forma, essas lacunas não são tão graves assim, pois é preciso julgar o que era possível fazer *na época*.

Por estranho que possa parecer, uma lacuna metodológica de Aristóteles, aparentemente irrelevante, tem grandes conseqüências históricas negativas: a falta de citação de fontes de informação ou de descrições de observações singulares. Historicamente, isso resultou em uma mistura indiferenciada entre fatos observados por Aristóteles, informações indiretas (às vezes falsas) e deduções da teoria, não confirmadas. Como se sabia que *muitas* das informações haviam sido cuidadosamente observadas por Aristóteles, e como não era possível distinguir *quais* eram de um tipo e quais de outro, houve a tendência de aceitar *tudo* como *fatos observados*, o que retardou a correção de erros contidos nas obras de Aristóteles.

Costuma-se apontar como falha metodológica de Aristóteles a sua "pressa em generalizar". Muitas de suas generalizações são falsas; mas muitas outras são consideradas corretas. É melhor se arriscar e generalizar, ou nem tentá-lo?

É inegável o valor de generalizações: elas são cientificamente desejáveis. Mas *nada* assegura, jamais, que uma generalização é correta. Ela sempre deve ser mantida em dúvida, sujeita à descoberta de exceções ou a retificação. Não existem, também, regras sobre o número de casos que devem ser conhecidos antes de se propor uma generalização. Aristóteles não errou, metodologicamente, ao querer propor generalizações, apesar de haver proposto generalizações incorretas.

Erraram os que julgaram que *alguma* generalização é totalmente confiável.

Aristóteles cometeu enganos em observações, em generalizações e na própria teoria da respiração. Alguns desses enganos poderiam ser corrigidos, naquela mesma época, por novas observações e experiências. No entanto, deve-se observar que essas novas observações e experiências *não eram metodologicamente diferentes das realizadas por Aristóteles*. Se existissem, na época, outros Aristóteles, utilizando igual metodologia, eles seriam capazes de descobrir falhas da obra de Aristóteles, de corrigir muitos de seus enganos, de adicionar novos conhecimentos e de mostrar que sua teoria não era aceitável – e, talvez, propor outra mais próxima da nossa. A principal causa do fracasso da biologia aristotélica não foi uma falha metodológica e sim uma falha social: a ausência de interlocutores de igual nível e de um processo social de discussão e busca de conhecimentos empíricos e de alternativas teóricas.

Pode-se alegar que o próprio Aristóteles poderia ter preenchido o papel desses interlocutores ausentes, realizando mais observações, pensando em novas experiências e estudando outras propostas de explicação. É verdade. Aristóteles poderia ter sido ainda maior do que foi. Mas a diferença seria mais *quantitativa* do que *qualitativa* e isso é o que é preciso perceber claramente. Tivesse *alguém* produzido mais daquilo que Aristóteles produziu e os erros de Aristóteles iriam sendo corrigidos. Não era preciso introduzir um novo método.

Como afirma Lones, que se preocupou em confrontar detalhadamente a biologia de Aristóteles com a moderna, as falhas do Estagirita podem ser atribuídas à sua tentativa de fazer um trabalho excessivamente vasto, sem precedentes (LONES 1912, p. 25). Pode-se aplicar aqui o que Aristóteles comenta, embora em outro contexto, sobre seu próprio trabalho:

Não encontrei nenhuma base preparada, nenhum modelo para copiar... Meu passo foi o primeiro e, portanto, foi pequeno, embora desenvolvido com muita meditação e trabalho árduo. Deve ser visto como um primeiro passo e julgado com indulgência. Vós, meus leitores ou ouvintes de minhas palestras, se pensardes que fiz tudo quanto possa ser razoavelmente exigido de um iniciador, comparado com outros departamentos mais avançados da teoria, reconheceréis aquilo que realizei e perdoareis aquilo que deixei para outros realizarem (ARISTÓTELES, *Argumentos sofisticos* 34).

8 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou e analisou a teoria aristotélica da respiração, como exemplo da obra e do método biológico de Aristóteles. Ao contrário do que se

percebe na contribuição de Aristóteles à física, aqui se nota o trabalho de um cientista bastante moderno, em seu método e estilo de exposição. Sua teoria não é mais aceita; mas trata-se de uma alteração teórica e não de uma ruptura metodológica entre a biologia peripatética e a moderna. Não era preciso realizar um tipo de trabalho fundamentalmente diferente do realizado por Aristóteles para corrigir a maior parte de suas falhas. Substituir sua teoria pela de Lavoisier, é verdade, não poderia ser feito antes do desenvolvimento da química; mas teria sido possível corrigir e adaptar a teoria de Aristóteles, mesmo em sua época, com a simples aplicação da mesma metodologia por outros pesquisadores que estivessem à altura do Estagirita.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi possível graças ao apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP); o autor agradece também ao Wolfson College e à Bodleian Library (Oxford) que proporcionaram condições para a elaboração deste estudo.

LISTA BIBLIOGRÁFICA

- 1 ARISTÓTELES. (Ver nota 1 do artigo).
- 2 BACON, Francis. *Novum organon*. Chicago, Encyclopaedia Britannica, 1958.
- 3 BARTHÉLEMY SAINT-HILAIRE, J. (trad.). *Psychologie d'Aristote - opuscule (Parva naturalia)*. Paris, Dumont, 1847.
- 4 BERNARD, Claude. *Leçons sur la chaleur animale, sur les effets de la chaleur et sur la fièvre*. Paris, J.B. Baillière, 1876.
- 5 BIRKENMAJER, Alexandre. Le rôle joué par les médecins et les naturalistes dans la réception d'Aristote au XII^e et XIII^e siècles. In: *Pologne au VI^e Congrès International des Sciences Historiques*, Varsoviè, Współczesna, 1930, pp. 1-15.
- 6 BLAGDEN, Charles. Experiments and observations in a heated room. *Philosophical Transactions of the Royal Society* 65: 111-28; 484-94, 1775.
- 7 BOURGEY, Louis. *Observation et expérience chez Aristote*. Paris, J. Vrin, 1955.
- 8 BOYLAN, Michael. *Method and practice in Aristotle's biology*. Lanham, University Press of America, 1983.
- 9 CORNFORD, Francis M. *Plato's cosmology - the Timaeus of Plato translated with a running commentary*. London, Routledge and Kegan Paul, 1977.
- 10 DIDOT, A.F. (ed.). *Aristotelis opera omnia graece et latine*. 5 vols. Paris, Firmin-Didot, 1849-1873.

- 11 GALENUS, Claudius. *Opera omnia*. 20 vols. Ed. D. Cardus Gottlob Kühn. Leipzig, C. Knoblochii, 1821-1833.
- 12 HETT, W.S. (trad.). *Aristotle. On the soul. Parva naturalia. On breath*. London, William Heimemann, 1964 (Loeb Classical Library 8).
- 13 HIPPOCRATES. *Oeuvres complètes*. Trad. É. Litttré. 10 vols. Amsterdam, A.M. Hakkert, 1962.
- 14 LONES, Thomas East. *Aristotle's researches in natural science*. London, West, Newman & Co., 1912.
- 15 LOUIS, Pierre (trad.). *Aristote. De la génération des animaux*. Paris, Belles Lettres, 1961.
- 16 LUQUET, G.-H. *Aristote et l'université de Paris pendant le XIII^e siècle*. Paris, Ernest Leroux, 1904.
- 17 MARTINS, Roberto de A. *Sobre o papel dos "desiderata" na ciência (tese)*. Campinas, UNICAMP, 1987.
- 18 OGLE, W. (trad.). *Aristotle on youth and old age, life and death and respiration*. London, Longmans, Green & Co., 1897.
- 19 ORIBASE. *Oeuvres*. 6 vols. Ed. & trad. Bussemaker & Daremberg. Paris, Imprimerie Impériale, 1851-1876.
- 20 PECK, A.L. (trad.). *Aristotle. History of animals*. 3 vols. London, William Heinemann, 1965 (Loeb Classical Library 9-11).
- 21 —. (trad.). *Aristotle. Generation of animals*. London, William Heinemann, 1963 (Loeb Classical Library 13).
- 22 —. (trad.). *Aristotle. Parts of animals*. London, William Heinemann, 1968 (Loeb Classical Library 12).
- 23 PLINYO. *Natural history*. Trad. H. Rackham, W.H.S. Jones, D.E. Eichholz. 10 vols. London, William Heinemann, 1963.
- 24 ROSS, W.D. (ed.). *The works of Aristotle translated into English*. 12 vols. Oxford, Oxford University, 1967-1968.
- 25 SCHWAB, M. *Bibliographie d'Aristote*. Paris, H. Walter, 1896.
- 26 SPRAT, Thomas. *History of the Royal Society*. Ed. Jackson I. Cope & Harold W. Jones. St. Louis, Washington University, 1966.
- 27 TAYLOR, Thomas (trad.). *The works of Aristotle translated from the Greek with copious elucidations from the best of his Greek commentators*. Vol. 8 - On the soul, Parva naturalia, Generation of animals, Motion of animals. London, (printed for the translator), 1812.
- 28 THEOPHRASTUS. *The causis plantarum*. 3 vols. Trad. Benedict Einarson & George K. Link. London, W. Heinemann, 1976.
- 29 —. *De igne*. Trad. Victor Coutant. Assen, Royal Vangorcum, 1971.
- 30 THOMPSON, D'Arcy Wentworth. *On Aristotle as a biologist*. Oxford, Clarendon, 1913.
- 31 TRICOT, J. (trad.). *Aristote. Histoire des animaux*. 2 vols. Paris, J. vrin, 1957.

- 32 —. (trad.). *Aristote. Parva naturalia, sive de tracté pseudo-aristotélicien De spiritu.* Paris, J. Vrin, 1951.

Abstract: Aristotle studied the breathing of animals in his biological works. He concluded that it consists in a refrigeration phenomenon that controls the breath of living beings. He analyses how such a phenomenon takes place in several kinds of animals, using observation, anatomic dissections and experiments. Aristotle offers a consistent theoretical system, well empirically founded. This article describes Aristotle's contribution and discusses his methodology showing that it is similar to the modern scientific method.