



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
CURSO DE FÍSICA LICENCIATURA**

LUCAS GIANNINI SABA DE LACERDA

UMA ANÁLISE PEDAGÓGICA DA HISTÓRIA DA TERMODINÂMICA

FORTALEZA

2019

LUCAS GIANNI SABA DE LACERDA

UMA ANÁLISE PEDAGÓGICA DA HISTÓRIA DA TERMODINÂMICA

Monografia apresentada ao curso de Licenciatura em Física no departamento de Física da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de licenciado em Física.

Orientador: Prof. Dr. Saulo Davi Soares e Reis.

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- L138a Lacerda, Lucas Giannini Saba de.
Uma análise pedagógica da história da termodinâmica / Lucas Giannini Saba de Lacerda. – 2019.
63 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências,
Curso de Física, Fortaleza, 2019.
Orientação: Prof. Dr. Saulo Davi Soares e Reis.

1. História da ciência. 2. Termodinâmica. 3. Ensino de Física. I. Título.

CDD 530

LUCAS GIANNINI SABA DE LACERDA

UMA ANÁLISE PEDAGÓGICA DA HISTÓRIA DA TERMODINÂMICA

Monografia apresentada ao curso de Física Licenciatura no Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de licenciado em Física.

Aprovada em: 03/12/2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Saulo Davi Soares e Reis (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Nildo Loiola Dias
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Marcos Antônio Araújo Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Marta Carvalho Saba de
Lacerda e João Bosco de Lacerda.

Ao meu irmão, Jorge Miguel Saba de Lacerda.

AGRADECIMENTOS

À CNPq, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de IC.

À Capes, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de monitoria e PIBID.

À Capes, pela oportunidade única e apoio financeiro com a manutenção da bolsa de supervisor regional do PIBID.

À toda Universidade Federal do Ceará, pela estrutura, capacitação e oportunidade de ingresso no ensino superior.

Ao Prof. Dr. Saulo Davi Soares e Reis, pela excelente orientação.

Aos professores participantes da banca examinadora Marcos Antônio Araújo Silva e Nildo Loiola Dias pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

A todos os meus professores, pelo conhecimento e reconhecimento.

Ao Colégio Estadual Justiniano de Serpa, pela oportunidade de exercer a profissão.

À Marina Oliveira Sampaio e Helyda Cecília, pela grande amizade.

A todos os amigos que fiz nesses anos de graduação.

Aos meus amigos do grupo universitário Mariae Bellatorum, pela excelente amizade, orações, formações e apoio nos momentos mais difíceis.

“Era um prazer especial ver as coisas serem
queimadas, enegrecidas e alteras pelo fogo.”
Guy Montag, Fahrenheit 451.

RESUMO

O calor, como conceito físico, é estudado pela humanidade a milênios. Na Grécia antiga, o calor era associado a um dos elementos fundamentais, o fogo. Neste período, não havendo uma separação clara entre áreas do conhecimento bem estabelecida, a Matemática, Filosofia e Física eram tratadas como uma coisa só, sendo a Física e Matemática tópicos totalmente práticos, o que levava os filósofos gregos a adotarem descrições por vezes concretas de conceitos físicos. A situação mudou com o passar do tempo, nos séculos XVII e XVIII já víamos essa praticidade tender para descrições mais abstratas. De forma concomitante, o conceito de calor também evoluiu, de ideias mais concretas, como sendo um fluido impermeável, até mais abstratas, como a aceita atualmente, onde o consideramos como uma forma de energia em movimento. Hoje, o ensino de Física no ensino fundamental e médio passa por um problema oriundo dessa evolução dos conceitos físicos: a apresentação de conceitos físicos por meios demais abstratos dificulta o processo de aquisição de conhecimento por parte do corpo discente. Aqui mostrarei como uma abordagem histórica do conceito de calor pode funcionar como uma estratégia facilitadora. Mostrarei como o conceito de calor evoluiu, desde os tempos da Grécia antiga até o século XX; e como isso foi influenciando a sociedade, e ao mesmo tempo sendo influenciado por correntes filosóficas, proto-ciências e por diversas áreas do conhecimento ao longo da história da ciência.

Palavras-chave: História da ciência. Termodinâmica. Ensino de física.

ABSTRACT

Heat, as a physical concept, has been studied by humanity for millennia. In ancient Greece, heat was associated with one of the fundamental elements, fire. In this period, since there was no well-established separation between areas of knowledge, mathematics, philosophy and physics were treated as one, and physics and mathematics were entirely practical topics, leading Greek philosophers to sometimes adopt a concrete description of physical concepts. The situation changed over time, in the seventeenth and eighteenth centuries, one can notice the description of physical concepts tending towards a more abstract treatment. Concomitantly, the concept of heat has also evolved from more concrete ideas as an impermeable fluid, to a more abstract ones, as we currently accept it, where we regard it as a form of energy in motion. Today, the difficulties of teaching of physics in elementary and high school arises from this evolution of physical concepts: the presentation of physical concepts by too abstract means hinders the process of knowledge acquisition by the student body. Here I will show how a historical approach to the teaching of thermodynamics can function as a facilitating strategy. I will show how the concept of heat evolved from ancient Greece to the twentieth century; and how it has been influencing society, and at the same time being influenced by philosophical currents, protoscience, and various areas of human knowledge throughout history.

Keywords: History of Science. Thermodynamics. Physics teaching.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- O mundo conhecido pelos gregos	62
Figura 2	- A perfeição da esfera numa bola de neve.....	63

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	O FOGO COMO ELEMENTO DA NATUREZA.....	16
2.1	A Grécia Antiga	16
2.2	Filosofia ou ciência grega?	16
2.3	Tales de Mileto	17
2.4	Anaximandro de Mileto	18
2.5	O Ápeiron	19
2.6	Anaximandro de Mileto.....	19
2.7	Heráclito de Éfeso.....	20
2.8	Xenófanés de Cólofon.....	20
2.9	A filosofia e teologia de Xenófanés.....	21
2.10	O problema do conhecimento.....	22
2.11	Parmênides de Eleia.....	22
2.12	A lua.....	23
2.13	A deusa.....	23
2.14	O mundo sem movimento.....	24
2.15	Paradoxos.....	25
2.16	Os quatro elementos.....	26
2.17	A quase revolução industrial dos gregos e romanos.....	27
3	O CALOR COMO SUBSTÂNCIA MATERIAL.....	29
3.1	A ciência europeia nos séculos XVI e XVII.....	29
3.2	As três terras de Becher.....	29
3.3	A teoria do flogisto.....	30
3.4	A reação da comunidade científica sobre o flogisto.....	31
3.5	A descoberta do oxigênio.....	32
3.6	Consequências.....	33
3.7	A teoria do calórico.....	33
3.8	Razões para se preocupar.....	34

3.9	As qualidades do calórico.....	35
3.10	A interação calórico - matéria.....	36
3.11	O princípio da decadência.....	37
3.12	Um novo paradigma.....	38
4	O CALOR COMO ENERGIA.....	39
4.1	A luz de acordo com a física.....	39
4.2	A interação luz - calor.....	39
4.2.1	<i>Marc-Auguste Pictet.....</i>	39
4.2.2	<i>William Herschel.....</i>	40
4.2.3	<i>A queda definitiva do calórico.....</i>	40
4.3	A primeira revolução industrial.....	40
4.4	A máquina de Carnot.....	41
4.5	A Equivalência do calor e do trabalho.....	42
4.5.1	<i>O experimento de Joule.....</i>	42
4.5.2	<i>A conservação da energia.....</i>	42
4.6	Hoje.....	43
4.6.1	<i>O linguajar calorista nos dias de hoje.....</i>	43
4.6.2	<i>Definições básicas.....</i>	44
4.6.3	<i>A primeira e segunda lei da termodinâmica.....</i>	45
5	CONCLUSÃO.....	46
	REFERÊNCIAS.....	47
	ANEXO A.1 - Aula de temperatura.....	50
	ANEXO A.2 - Aula de dilatação linear.....	51
	ANEXO A.3 - Aula de dilatação superficial e volumétrica.....	52
	ANEXO A.4 - Aula de trocas de calor.....	53
	ANEXO A.5 - Aula sobre a revolução industrial e máquinas a vapor.....	54
	ANEXO A.6 - Aula sobre a primeira lei da termodinâmica.....	55
	ANEXO A.7 - Aula sobre entropia e o movimento perpétuo.....	56
	ANEXO A.8 - Aula sobre a segunda lei da termodinâmica.....	57
	ANEXO B - Aula de astronomia.....	59

1 INTRODUÇÃO

O calor e o fogo são elementos que estão presentes na história e cultura humana desde antes do desenvolvimento da escrita, sendo o seu domínio um evento fundamental para a humanidade e não datado. Foram alvos dos pensamentos de grandes filósofos e objetos de estudos na alquimia, tanto em sua fase mais mística quanto em uma fase mais científica. Ganhou seu lugar de destaque na física dos séculos XVII e XVIII, mas, mesmo assim, sua história não é tão catalogada e divulgada quanto outras teorias mais famosas.

Neste trabalho é descrito como a ideia do calor evoluiu com o passar do tempo, desde a época dos gregos com a sua filosofia até a primeira revolução industrial, onde a nossa compreensão de calor se estabeleceu, não sofrendo grandes mudanças desde então. Talvez alguns fiquem decepcionados por não darmos muito destaque a idade média, mas nessa época os pensadores e filósofos medievais de seu tempo não pensavam muito sobre o tópico.

Na cultura pop, principalmente em obras fictícias, os famosos quatro elementos da natureza tem um lugar de destaque, mas o que é pouco conhecido é que foi na cidade de Mileto que houve o início do desenvolvimento da ideia de que o mundo é composto por eles, culminando em Aristóteles.

Foi apenas com J. J. Becher e G. E. Stahl, nos séculos XVII e XVIII que houve uma revolução na forma como entendemos a combustão, sendo uma reação de separação entre dois tipos diferentes de terras ou do vazamento de um fluído ígneo, respectivamente. A medida que os equipamentos iam sendo inventados e melhorados, algumas teorias acerca do conceito de calor iam sendo falseadas. Um exemplo clássico foi o uso da balança ter possibilitado a refutação da alquimia e do flogisto.

Pergunte a qualquer aluno do ensino médio sobre qual é o seu maior desejo ou objetivo pra estar na escola. Você vai encontrar respostas como: “entrar numa universidade pública pra cursar tal curso”; ou “eu quero muito entrar numa universidade pública, mas as chances são bem difíceis”; alguns vão dizer que só querem o diploma pra entrar no mercado de trabalho. Talvez encontre outras respostas, mas a maioria é sempre a mesma. Uma das razões para este pessimismo no ensino médio é justamente a Física, que apesar de bela é apresentada de forma feia nas escolas por várias razões, mas a principal de todas é: tudo é muito abstrato. Neste trabalho não buscamos apresentar culpados, os professores já dão o seu melhor com um total de zero recursos, por isso, propomos uma abordagem nova: o uso de

uma boa história da física.

Neste trabalho, descrevemos as revoluções científicas e filosóficas sobre a natureza do calor, sendo relacionada com aulas que foram dadas por mim e de alguns problemas históricos propostos sobre um determinado conceito.

2 O FOGO COMO ELEMENTO DA NATUREZA

2.1 A Grécia Antiga

Dentro da cultura da Grécia antiga existem os mais diversos elementos, desenvolvimentos de ideias e práticas fundamentais para a sociedade de hoje (como a lógica e a filosofia). Dentro desta cultura existia a necessidade de explicar a origem e funcionamento do mundo ao seu redor usando a lógica. Segundo alguns historiadores e filósofos isso foi uma consequência da política e oratória advinda da competição entre várias cidades estados.

As relações entre as cidades estados, exércitos e políticos criaram um antigo sistema de alianças entre cidadãos e cidades estados, todos usando palavras para atrair um maior número de seguidores, o que acabou criando estilos de pensamentos, que nas mãos de grandes homens deram origem às primeiras escolas filosóficas (como os jônicos e os pitagóricos).

2.2 Filosofia ou ciência grega?

Os gregos eram amantes da razão e não era à toa, segundo Neri de Paula Carneiro (2008), por causa da política entre as muitas cidades estados, criar um argumento bom, lógico e irrefutável para convencer os outros sobre qualquer assunto poderia ser vital.

“Em 483 a.C. (Temístocles) propôs que os atenienses utilizassem os ganhos das minas de prata recém-descobertas perto da cidade para construir navios de guerra. A proposta gerou um duríssimo conflito com Aristides, seu adversário político, que propunha dividir a prata entre os cidadãos. Muito persuasivo, sua justificativa era ‘Nossa cidade precisa da frota para derrotar os egínetos’. Embora ousada e arriscada, a manobra deu certo.” (Cauti, 2006).

Sabe-se que Temístocles havia mentido, os egínetos nunca tramaram uma guerra contra Atenas, mas ele criou essa história para ter uma frota que ajudasse os gregos a lutarem contra uma possível invasão persa que viria ocorrer tempos depois. O político e general grego não precisou estar certo, apenas precisou ser convincente para ter sucesso.

E este é um dos elementos que marca o estilo dos gregos: a busca por um bom argumento convincente, mas para convencer os demais você não necessita estar certo, apenas saber contar uma boa história. Essa “regra” para vencer na política foi justamente o que evitou a filosofia grega de ser uma ciência grega.

Tanto o argumento de Temístocles, quanto uma teoria baseada no método científico possuem uma estrutura lógica idêntica, mas a sua diferença básica é de onde você está partindo, enquanto um cientista parte do que ele observa na natureza ou em seu laboratório, na Grécia Antiga você poderia simplesmente deduzir que era assim, sem conferir a veracidade da informação e investigar o mundo.

2.3 Tales de Mileto

Segundo Julián Marías (1941), Tales de Mileto (623/624 a.C. - 556/558 a.C.), foi o fundador da escola de Milésia, que se situava na cidade de Mileto (em Regido, hoje situada na Turquia), foi o primeiro filósofo ocidental que se tem notícias. Era de nacionalidade grega, com uma possível ascendência fenícia.

Na cosmologia fenícia as forças da natureza (fogo, água, montanha, terra, etc) são forças autônomas e que deveriam ser referenciadas como deuses. Tais elementos são chamadas em grego de *physis*. Talvez, por questão de enculturação, Tales de Mileto uniu o racionalismo grego com a mitologia fenícia, que o levou a questionar ou racionalizar algumas coisas da religião da terra natal de seus antepassados.

Entre os seus questionamentos estava a suspensão da terra, afirmou Popper (2011), o movimento do universo e a busca por uma unidade. Na questão da suspensão, Tales criou a ideia do okeanos, um grande oceano na qual a terra flutuava e se sustentava, mas não parava por aí, toda vez que o okeanos se agitava a terra também ficava agitada e tremia (sendo essa a causa dos terremotos).

Os seus ensinamentos do okeanos era baseado na ideia de que a água era o agente que criava tudo. Segundo Aristóteles, Tales de Mileto deve ter pensado que a água era a causadora de tudo por verificar a sua presença em muitas coisas vivas e nos frutos frescos, ele foi o primeiro a desenhar um mapa mundi e observou que ao redor de muitas terras haviam oceanos. A ideia de um okeanos e da água gerar tudo parece, para Tales, portanto lógica.

A ideia mais revolucionária de Tales de Mileto não estava em sua cosmologia ou em sua filosofia sobre a *physis*, mas na tradição filosófica que ele gerou e passou aos seus discípulos: que uma ideia pode ser criticada e aperfeiçoada. Ideia essa muito bem aproveitada por Anaximandro de Mileto e seus sucessores, como bem afirmou Aristóteles (*Metafísica*, A 3, 983 b 20-27).

2.4 Anaximandro de Mileto

Anaximandro de Mileto (610 a.C. - 546 a.C.), foi um filósofo grego e discípulo de Tales de Mileto. Comparando as idades de nascimento e morte do mestre e discípulo, pode-se reparar que ambos tinham uma idade parecida, mas com Tales sendo um pouco mais velho (13 ou 14 anos).

Anaximandro seguiu a tradição filosófica de seu mestre e questionou seus ensinamentos, algo raro de acontecer, principalmente com um mestre famoso por sua sabedoria. Entre esses questionamentos a ideia da água ter criado tudo foi descartada e uma outra foi colocada em seu lugar, o *Ápeiron*.

A terra [...] é sustentada por nada, mas permanece estacionária devido ao fato de estar igualmente distante de todas as outras coisas. Sua forma é [...] como a de um tambor [...]. Caminhamos sobre uma de suas superfícies planas, enquanto a outra está do lado oposto. (ANAXIMANDRO DE MILETO *apud* POPPER; O mundo de Parmênides, p. 4).

A ideia de Anaximandro era a de que o okeanos é logicamente insustentável, pois se a terra está suspensa no meio das águas, no que as águas estão suspensas? Se elas estão suspensas em uma outra coisa no que ela também se sustenta? Por fim o problema da suspensão da terra só é transferido para um outro lugar e criando mais problemas.

Considerando que exista uma torre de várias camadas na qual sustenta a terra, se a debaixo desaba a sua superior também desaba, criando uma sequência em cadeia semelhante a queda de dominós e, por fim, a terra também desabaria. Não vemos a terra desabar, nem ela está desabando, logo ela não está suspensa em algo, mas no nada.

Anaximandro continua, a terra estaria suspensa no nada, teria forma de tambor e estamos andando em uma de suas superfícies a qual chamamos de superior. Aqui foi criado um conceito interessante, não existe um superior ou inferior absoluto, contudo convêm que chamemos a superfície plana que habitamos de superior. Esse tambor que habitamos está suspenso no nada por ser equidistante de todas as outras partes do universo (HIPÓLITO *apud* REALE, 1993).

Claro que Anaximandro não viu a terra do espaço para chegar em tal conclusão, muito provavelmente ele deve ter usado algumas observações naturais como a lua parecer ser suspensa no nada e a terra parecer plana para desenvolver a sua crítica, mas a natureza de tal raciocínio é especulativa pois Anaximandro e Tales especularam como as coisas são de fato.

2.5 O Ápeiron

De acordo com o Geovanni Reale (1993), dentro da teoria cosmológica de Anaximandro existe o Ápeiron: o material da construção do universo, o “infinito” ou “sem limites”, o “ilimitado” ou “informe”. E do Ápeiron vem os opostos como o quente e o frio, esses opostos criavam todo tipo de mudança no mundo que vivemos.

Para a filosofia de Anaximandro o mundo pela qual vivemos é um dos infinitos mundos criados no Ápeiron, e os seus movimentos são eternos e por isso não havia a necessidade de explicá-los. No dia a dia nós vemos mudanças óbvias: o dia vira noite, o molhado vira seco e o que está vivo acaba morrendo.

2.6 Anaxímenes de Mileto

De acordo com Julián Marías (1941) Anaxímenes de Mileto (588 a.C. - 524 a.C.) foi discípulo de Anaximandro de Mileto e, assim como o seu mestre, seguiu a tradição da escola de Milésia questionando alguns ensinamentos de seu mestre, mas manteve o interesse de buscar um princípio universal.

A característica mais marcante de Anaxímenes era a sua praticidade e que era um homem do senso comum, de fato, ele foi o menor dos três grandes filósofos milésios. Talvez, por isso, ele veio a descartar a ideia do Ápeiron por algo mais tangível e comum: o ar.

O principal interesse de Anaxímenes era entender as mudanças que ocorrem nesse mundo, e baseado em observações da própria natureza, vendo que quando o ar se condensa ele gera um nevoeiro ficando visível e quando esquenta a água evapora, Anaxímenes passa a assumir que tudo ao seu redor teve origem no ar após o mesmo se condensar. Sendo assim, mais uma vez na escola jônica, o discípulo mudou as ideias de seu mestre e as reformula (POPPER, 2014).

Não só isso, mas também Anaxímenes lança mais uma resposta sobre um dos questionamentos de Tales de Mileto: a terra está suspensa em que? Bem, se tudo veio do ar então a terra também veio do ar e está cercada por ele, mas como ela não cai? Da mesma forma como uma tampa de panela pode ficar suspensa em cima de um jato de ar quente, em outras palavras, estamos suspensos em um gêiser de ar quente.

2.7 Heráclito de Éfeso

Heráclito de Éfeso (535 a.C. - 475 a.C.) foi um filósofo grego da escola jônica. Influenciado pelos filósofos de Mileto, parte do princípio de que tudo está em movimento para criar a sua filosofia e, assim como Anaxímenes fez com Anaximandro, altera a filosofia de Anaxímenes e retira o ar de sua posição especial para colocar o fogo (REALE, 1993).

As coisas mudam por causa do fogo, ele aquece o ar que se movimenta e, por consequência, movimenta o ar frio. Algo seco pode ficar úmido ao ser exposto ao frio. Sendo então o fogo a real causa de mudança e tudo é um fluxo de movimento, logo o fogo é o elemento básico de tudo que é existente (o que de certa forma faz sentido se pensar em termos da mitologia grega, pois o fogo é um recurso divino na qual valia a pena ser conquistado, apesar da certeza da punição de Zeus – vide o mito de Prometeus).

Existe uma razão para a filosofia grega não ser chamada de ciência grega e aqui fica mais evidente o porquê. Repare que entre os filósofos gregos existe uma explicação básica sobre o mundo, como os movimentos causados pelas mudanças de temperatura, mas não existiu uma experimentação do que foi dito.

2.8 Xenófanes de Cólofon

Xenófanes de Cólofon (570 a.C - 475 a.C.) foi um filósofo grego e habitante da região da Jônia, sendo discípulo de Anaximandro e professor de Parmênides. Conta-se que Xenófanes testemunhou um debate sobre o princípio de tudo entre Anaximandro e Anaxímedes.

Anaximandro defendia o Ápeiron, Anaxímedes o Ar. Um dos escritos que ainda temos de Xenófanes fala justamente sobre tal conversa: a nossos pés podemos ver como o limite superior da Terra bordeja o ar; com o inferior alcança o Ápeiron (XENÓFANES *apud* POPPER, O mundo de Parmênides, p. 41).

Um ano após a morte de Anaximandro em 546 a.C., a Jônia foi invadida pelos medos (que eram comandados pelo general Hárpago) que pôs um fim a sua liberdade e a escola milésia. Durante esse período Xenófanes conseguiu escapar para a cidade de Fouceia, onde compartilhou a sua sabedoria.

2.9 A filosofia e teologia de Xenófanes

Xenófanes foi um homem que dedicou seus pensamentos a entender os deuses. Para isso ele comparou as religiões dos povos conhecidos e verificou um padrão, como pode ser bem-visto na passagem abaixo.

“Os etíopes dizem que seus deuses têm nariz achatado e são negros, enquanto os trácios dizem que os dele tem olhos azuis e cabelos ruivos. Mas se os bois ou os cavalos ou os leões tivessem mãos e pudessem desenhar e esculpir como os homens, os cavalos desenhariam seus deuses como cavalos, e os bois, como bois, e cada um moldaria os corpos dos deuses à própria semelhança.” (XENÓFANES *apud* POPPER, O mundo de Parmênides, p. 51)

O poema lido acima pode muito bem ser dividido em duas partes: uma sobre como os humanos compreendem os deuses e outra sobre como os animais entenderiam os deuses. Xenófanes deixou muito bem claro que só imaginamos os deuses tendo forma humanoide por ser essa a nossa forma, mas que isso não significa que os deuses tenham essa forma.

Então o que devemos pensar dos deuses? Certamente essa é um questionamento natural após ler os versos acima, mas Xenófanes também trouxe uma resposta a tal questionamento por meio do monoteísmo.

Um só Deus entre os deuses e entre os homens é o maior. Nem pela mente nem pelo corpo assemelha-se aos mortais. Sempre num só lugar permanece, sem nunca mover-se. Nem lhe corresponde vagar ora aqui, ora acolá. Sem esforço sobre Tudo reina só pelo pensamento e intenção. Todo ele é visão; todo saber; e todo audição. (XENÓFANES *apud* POPPER, O mundo de Parmênides, p. 53).

A conclusão de Xenófanes é, de forma mais simples, que só existe um deus que não é semelhante a forma humana, este também não muda, sendo sempre o mesmo e que é senhor de tudo. Mas então fica um questionamento válido: por que imaginamos deus sendo o que ele não é? Por quê não podemos imaginar aquilo que não conhecemos.

2.10 O problema do conhecimento

Este questionamento foi o que criou a sua teoria do conhecimento, em um de seus versos livres é dito que “Se Deus tivesse optado por não fazer o amarelo e o claro mel, muitos homens pensariam que os figos são muito mais doces (XENÓFANES *apud* POPPER, 2014)”. De fato, nossa mente é dualista, ou seja, entende o mundo fazendo comparações.

Segundo Popper (2014), existem dois conceitos que é necessário entender antes de

continuar: a verdade objetiva e a certeza objetiva. A verdade objetiva é uma coisa verdadeiramente verdadeira e que existe quer alguém saiba disso ou não, já a certeza objetiva é o produto do esforço humano em tentar chegar na verdade objetiva.

É verdade que $2+2=4$, isso sempre foi verdade antes da vida surgir, é verdade hoje e continuará sendo verdade mesmo que a humanidade deixe de existir. Por isso sabemos que ela é uma verdade objetiva e nunca perderá o seu valor, se por acaso o governo brasileiro escrever que uma lei que determine que $2+2=5$, ela não mudará. Por quê $2+2$ é igual a 4 e não 5? Qualquer forma de tentar explicar essa verdade usará algum axioma matemático ou lógico e essa explicação será a certeza objetiva, visto que ela é um produto de nossas mentes.

Xenófanes de Cólofon ao pensar sobre o conhecimento humano, inaugurou uma pergunta que durou séculos após a sua morte “o que é a verdade e como posso a conhecê-la? A verdade está em minha mente ou no mundo real?” Ele não esperava uma lista tão grande de filósofos ainda pensando sobre o assunto, séculos mais tarde.

Como chegar na verdade? É possível? Xenófanes nos responde:

Mas quanto à verdade certa, nenhum homem a conheceu, nem vai conhecê-la; nem dos deuses nem de todas as coisas de que falo e mesmo se por acaso proferisse a verdade final, ele mesmo não a conheceria. Pois tudo é apenas uma urdida teia de conjecturas. (Xenófanes; O mundo de Parmênides, p. 54)

Existe uma verdade objetiva da qual nem mesmo deus pode questionar, mas pode haver um mortal capaz de saber dela? Não. Xenófanes, em seus versos, explica que não conhecemos a verdade por causa de algum tipo de avareza divina, mas sim porque nenhum ser humano é capaz de reconhecê-la, por mais que a falasse ou ouvisse.

Apesar de tal crença ser pessimista para a humanidade, ainda sim podemos conjecturar a verdade objetiva, ou seja, tentar chegar nela usando a inteligência, mas com a certeza que ela nunca irá se revelar por inteiramente a nós.

2.11 Parmênides de Eleia

Segundo Popper (2014), Parmênides de Eleia (530 a.C. - 460 a.C.) foi um filósofo grego, natural de Eleia (antiga cidade da Magna Grécia, atual Itália), vindo de uma família rica e ilustre. Seu primeiro contato com a filosofia foi com os pitagóricos, mas muito provavelmente se tornou discípulo de Xenófanes (ao certo se sabe que Parmênides teve uma grande influência de Xenófanes).

Fora autor de muitas descobertas importantes para a época: como a causa real das fases da lua, que a estrela Vesper e D'alva são a mesma e o formato esférico da terra.

2.12 A lua

Selene, era assim que os gregos antigos chamavam a lua (a filha dos Titãs Hiperião e Teia) e todas as noites ela viajava o céu em sua carruagem. Sendo o corpo celeste mais próximo da terra e o astro dominante da noite, fíndou sendo um dos objetos mais admirados pela humanidade, que sempre buscou desvendar os seus segredos (POPPER, 2014).

Heráclito de Éfeso, como dito anteriormente, defendia que toda e qualquer mudança era causada pelo fogo, logo ao observar as mudanças de fases da lua afirmou que em seu interior havia uma chama que ora se revelava totalmente à terra (lua cheia), ora se escondia em um lado oculto (lua nova) ou se mostrava de forma parcial (luas crescentes e quarto minguante).

Parmênides de Eleia afirmava que era incorreto o que Heráclito dizia. Ao olhar com bastante atenção em uma noite de lua minguante ou crescente e sem nuvens, pode-se observar que um pedaço da lua está escura, enquanto uma parte está iluminada. O obvio a se pensar sobre o caso é: a lua é sempre a mesma todas as noites, mas ela parece menor ou maior por causa de um jogo de sombra e luz. Parmênides foi o primeiro a perceber ou descrever tal fato (ou o primeiro da qual se tem registros), sendo essa uma de suas principais descobertas científicas.

É baseado em suas descobertas sobre a natureza que Parmênides desenvolveu toda a sua filosofia, mas a lua lançou sobre ele algo tão pesado e sombrio que não seria fácil aceitar sem um argumento lógico, uma revelação divina ou até mesmo os dois: se a mudança de tamanho da lua é uma ilusão, o que mais é uma ilusão?

2.13 A deusa

Ouve! E leva contigo a minha mensagem quando a tiveres recebido! Vê que só há duas vias de investigação concebíveis: uma é a vida do que é, e o que o não ser não pode ser. Uma é o caminho da Persuasão, a ciada da Verdade. Agora eis o outro! Este é o caminho não é, e que ele não pode ser ser..Esse caminho – ouve o que te digo! - é um caminho que não pode ser concebido. Pois não podes conhecer o que não é. Isso não se pode fazer; tampouco pode ser dito. (PARMÊNIDES *apud* POPPER, O mundo de Parmênides, p. 84.)

Parmênides começa a contar o seu poema acima falando de sua viagem sobrenatural até a deusa que lhe prometera revelar a verdade que até então não tinha sido revelada aos homens.

A verdade da deusa é dita em duas partes: na primeira parte (a Vida da Verdade) é dito que não devemos confiar nos sentidos, apenas na razão e na prova (ou refutação) lógica; já a segunda parte (a Via das Conjecturas Humanas) é que o mundo é, na verdade, um bloco esférico de matéria onde a mudança e o movimento não ocorrem.

Em outras palavras, a deusa afirma que no mundo real as mudanças não ocorrem, mas os seres humanos (que vivem sendo iludidos por seus sentidos e sentimentos) acabam vendo coisas que não existem. As próprias descobertas de Parmênides o levaram a entender o porquê. Todas as pessoas acreditavam que as Estrela Vésper e a Estrela da Manhã eram corpos diferentes, mas pela razão é visto a verdade: não, elas não são. Os nossos olhos veem a lua diminuir e aumentar de tamanho durante o mês enquanto troca de fase, mas ela não aumenta e nem diminui, somos apenas enganados por um jogo de luz e sombra. É por essa razão que os sentidos devem ser abandonados, apenas um argumento lógico pode chegar a verdade que até então pertence aos deuses (POPPER, 2014).

Para Parmênides, a revelação da deusa chega a ser mais assustadora quanto mais se pensa nela, pois confirma que o que vemos e sentimos não é real, que é preciso abandonar os sentidos e abraçar a razão pura para sabermos algo verdadeiro.

2.14 O mundo sem movimento

Como bem explica Popper (2014), se não existe mudança, então porque haveria o movimento? Ora, é apenas mais uma ilusão de nossos sentidos, mas uma afirmação de tal natureza jamais seria aceita por alguém sem um argumento lógico para o defender.

A deusa afirmou que o não ser não pode ser, essa é até uma afirmação lógica e com sentido, mas se aplicar tal coisa para o espaço vazio temos algo de interessante: o espaço vazio é uma espécie de não ser, então ele não existe.

Como dois corpos não ocupam o mesmo lugar, então para um corpo ir para um outro lugar é preciso ir a um espaço vazio, mas espaços vazios não existem, logo o movimento é impossível. Apesar de sentirmos o movimento em todos os instantes de nossas vidas, estamos mais uma vez sendo enganados por nossos sentidos. Se não existem espaços vazios, então

pode-se afirmar que todo o espaço está preenchido por matéria, em um único bloco indivisível.

2.15 Paradoxos

Zenão de Eleia (Eleia 490 a.C. - Eleia 430 a.c) foi um filósofo grego e discípulo de Parmênides, criador de famosos paradoxos que são conhecidos até hoje. Na defesa das ideias de seu mestre, que estavam sendo criticadas abertamente pelos membros da escola jônica (rivalidade que surgiu com Parmênides e Heráclito), foi desenvolvido dois paradoxos, sendo o mais conhecido o da corrida entre Aquiles e a Tartaruga.

Imagine que Aquiles aposta uma corrida com uma tartaruga, mas para o maior herói da Grécia não ser injusto, resolve dar à tartaruga 100 metros de vantagem. Quando Aquiles corre 100 metros, ele ainda não ultrapassou a tartaruga, pois a mesma já andou mais 10 metros. Quando Aquiles chega aos 110 metros, a tartaruga já está nos 111 metros. Quando Aquiles chegar aos 111 metros, a tartaruga já estará nos 111,01 metros e assim por diante, de tal modo que Aquiles nunca alcançará a tartaruga e nem vencerá a corrida (MARÍAS, 1941).

Mas, pelo menos, a corrida encontrará um fim? Claro que não, a tartaruga antes de chegar na linha de chegada (suponhamos que fica 10 quilômetros a frente dela) irá primeiro ter que percorrer metade desta distância (5 quilômetros), mas após chegar nesse ponto precisará correr metade da distância restante (2,5 quilômetros) e depois mais metade disso (1,25 quilômetro), de tal forma que sempre faltará um pedaço para ser percorrido, correndo por toda a eternidade ao lado de Aquiles (POPPER, 2014).

Zenão criou este paradoxo para mostrar de forma prática o que seu mestre desenvolveu de forma abstrata, mas falhou por não levar em consideração o tempo que cada corredor precisa para chegar em algum ponto da corrida. Caso contrário, saberia que Aquiles teria uma velocidade maior que a tartaruga e passaria dela, também por causa dos limites da matemática da época, não sabia que é possível somar infinitos números que resultam em um número finito.

2.16 Os quatro elementos

De acordo com Reale (1993). os quatro elementos foram desenvolvidos por

Empedócles (Agrigento, Sicília, ca. 490a.C. - Monte Etna, Sicília, ca. 430 a.C.) numa síntese dos filósofos citados anteriormente.

Os filósofos da escola milésia deram início ao estudo sobre os elementos que compõe a natureza, e identificar qual deles foi o primeiro. Apesar de cada filósofo ter adotado um elemento para si, foi Empedócles que resolveu adotar todos eles e os considerar como a matéria-prima que compõe tudo ao nosso redor.

Como Empedócles veio após todos, acabou fazendo uma filosofia que sintetizava seus métodos, afirmando que 4 elementos (fogo, água, terra e ar) eram a composição de tudo. Mas se tudo o que existe são os 4 elementos, o que são as demais coisas?

Para Empedócles, existem duas forças, o amor e ódio. O primeiro une os elementos para formar coisas novas, o outro os separam. Um domina o outro, mas não pra sempre, mas em ciclos, quando o amor domina, os elementos se unem para formar coisas novas, quando é o ódio que domina eles se separam (MARIÁS, 1941). Sua filosofia foi aperfeiçoada por Aristóteles (Estagira, Calcídica, 384 a.C. - Cálcis, ilha de Eubeia, 322 a.C.), que utilizou toda a filosofia grega para tentar descobrir como o mundo funciona.

No campo dos quatro elementos, foi adicionado mais um por Aristóteles (o éter, que não é nem pesado e nem leve, se movendo de forma circular pelo céu e é eterno). Também descreveu como os elementos se comportam, sendo que os mais pesados descem e os mais leves sobem.

-A terra é o elemento mais pesado, então ele fica abaixo de todos.

-A água é o segundo elemento mais pesado, ele desce, mas fica acima de toda a terra (como podemos ver nos oceanos e lagos).

-O ar é o elemento do meio, sendo mais leve que a água e mais pesado que o ar.

-O fogo é o quarto elemento mais pesado e o segundo mais leve, podemos ver isso pelas chamas de uma fogueira que tentam subir para o céu.

-O éter é o elemento mais leve de todos, estando acima de todos os outros é aquele que compõe as estrelas e planetas que vemos no céu.

Na prática isso explica a forma da terra, para Aristóteles, sendo o universo esférico, e o elemento terra está parado no centro por ser o mais pesado, seguido da água (lagos e oceanos), do ar (atmosfera), fogo e éter (estrelas).

2.17 A quase revolução industrial dos gregos e romanos

Segundo Roque (2012), Heron de Alexandria (10 d.C. - 80 d.C.) foi um matemático, engenheiro e sacerdote grego, trabalhava no templo de Alexandria e criou diversos dispositivos que usavam o vapor de água para mover objetos, entre esses a porta automática do Templo.

O sacerdote quando queria abrir o templo para receber suas visitas, acendia uma chama sagrada que esquentava um cano, que por sua vez esquentava água ou mercúrio. Quando um visitante chegava a porta, pisava em cima de um grande botão, que com o peso de seu corpo baixava-o, liberando o vapor de água quente ou de mercúrio, abrindo a porta. Em seus escritos, Heron fala da existência de outros sistemas semelhantes ao seu.

Ao estudar a história da matemática, existe uma diferença entre como nós a vemos e os gregos a viam. Para um engenheiro contemporâneo, a matemática é um conhecimento geral que ele usa para construir prédios e obras, mas para o grego antigo ela era uma técnica para construir algo, de fato havia várias técnicas matemáticas antes da invenção da álgebra e cada uma delas estava ligada a um serviço em específico (de tal forma que dificilmente um engenheiro ou matemático soubesse de mais de uma técnica).

Mas por qual razão a revolução industrial veio ocorrer no século XVIII e não no primeiro da era cristã? Foram algumas razões básicas: o fim da escravidão levaria a um colapso econômico e social naquela sociedade e a queda do Império Romano.

O desenvolvimento científico está intimamente ligada a dois fatores importantes: no que os cientistas querem investigar e na estrutura política vigente. Os matemáticos e engenheiros estavam mais dispostos a unificar os seus métodos nos séculos finais da idade antiga e com a queda do Império Romano do Ocidente, não havia financiamento para pesquisas científicas.

Apesar do declínio das ciências na Europa, o mundo árabe teve avanços científicos surpreendentes e graças a eles não estamos atrasados em séculos passados. Quando Maomé unificou a península arábica, os povos árabes fizeram o que qualquer povo daquela época teria feito: se expandiram. Com um novo império formado que se estendia da China até a Espanha e com a rota da seda unificada em um só governo, houve uma migração de intelectuais por todas esses territórios e um boom de desenvolvimento científico, mas por causa das guerras de expansão territorial, parte do conhecimento ficou perdido ou esquecido por algum tempo, entre esses, as máquinas de Heron (COSTA, 2009).

3 O CALOR COMO SUBSTÂNCIA MATERIAL

3.1 A ciência europeia nos séculos XVI e XVII

Desde os tempos mais antigos e passando pelo presente momento, o desenvolvimento do conhecimento e da espécie humana sempre estiveram intimamente ligadas com a matéria e cultura, cada qual influenciando as sociedades em toda a terra à sua própria maneira.

No século XVI a Europa estava deixando de viver o período da renascença, a ciência estava se separando cada vez mais da filosofia e teologia, ficando cada vez mais ligada a matéria. Foi nesse contexto que homens como Galileu Galilei e Johannes Kepler sugeriram a ideia do mecanicismo, que a natureza poderia ser descrita sem a necessidade de recorrer a seres mitológicos, demônios, angelicais ou divinos.

No século XVII, a Europa viu o surgimento do método científico pelas mãos de René Descartes¹. Isaac Newton propôs a lei da gravitação, mostrando que o que faz os planetas girarem em torno do sol também faz as maçãs caírem. Nicolaus Steno criou os princípios da geologia e abriu espaço para que Charles Darwin desenvolvesse a evolução.

3.2 As três terras de Becher

Jonaham Joachim Becher (Speyer, Sacro Império Romano-Germânico, 6 de maio de 1635 – Londres, Inglaterra, outubro de 1682) dedicou parte de suas pesquisas no estudo da combustão e mineração, também era conselheiro comercial do imperador Leopoldo I em Viena e foi bastante útil no estabelecimento de manufaturas químicas em Habsburgo.

A teoria de Becher teve uma clara inspiração nos filósofos gregos e romanos, não só por ter reformulado os quatro elementos de Empédocles, mas também por ter se baseado na filosofia de Plínio, que afirmava que o fogo era um elemento material e que esse era muito presente no enxofre (o que explicava a razão de ser um elemento facilmente inflamável).

De acordo com a Enciclopédia Britannica (1778), sua principal obra foi o *Physica Subterranea* na qual lançou uma reformulação de um dos quatro elementos de Empédocles (a terra) para as terras mercurialis, lapida e pinguis. Cada uma dessas terras tinham uma

¹ René Descartes foi o primeiro a descrever o método científico como o conhecemos, anterior a ele houve outros homens, como Roger Bacon, que já usavam algo semelhante ao método científico. Sendo assim, nunca houve um consenso sobre a afirmação feita no texto, mas a sua descrição e nome foi um marco na ciência.

propriedade única e formavam as características de um objeto, dependendo de sua concentração:

- Terra mercurialis: formava o mercúrio.
- Terra pinguis: formava substâncias oleosas e inflamáveis.
- Terra lapida: formava os materiais não inflamáveis.

Becher se tornou o conselheiro do imperador da Áustria por seus sucessos na indústria, por explicar alguns fenômenos e descobrir que o interior da terra é formada por magma, ou seja, Becher era um cientista de primeira categoria em sua época e como tal teve “seguidores” que deram continuidade ao seu trabalho pela Europa.

Segundo Becher, um corpo inflamável (como o carvão, por exemplo) entra em combustão por um processo de separação entre as terras pinguis e lapida, após a separação total, a terra pinguis abandona o carvão e fica restando apenas a terra lapida (popularmente chamada de cinzas ou cal). Entre as evidências de tal processo está o fato de que após a queima total, as cinzas do carvão se encontram mais leves que o carvão, indicando que houve perda de matéria (ou terra pinguis).

3.3 A teoria do flogisto

George Ernest Stahl (Ansbach, 22 de outubro de 1659 – Berlim, 14 de maio de 1734), foi discípulo de J. J. Becher e um importante químico que buscou desenvolver a teoria de seu mestre. Stahl “renomeou” a terra pinguis para flogisto e a partir disso passou a descrever a combustão como um tipo de vazamento de flogisto.

Mas o que é o flogisto? Era uma substância hipotética que os químicos antigos² e alquimistas acreditavam existir dentro de materiais inflamáveis (como no álcool e carvão) e no ar, a sua liberação causava o fogo. Atualmente o flogisto é apenas um elemento encontrado em histórias de ficção, tanto em filmes, livros ou jogos.

Enquanto Becher via o carvão pegando fogo como a separação de duas terras diferentes (pinguis e lapida), Stahl via algo quase que semelhante: a cal (matéria não inflamável) e o flogisto se separando. Engana-se quem pensa que Stahl seria lembrado ou reconhecido apenas por renomear os nomes das substâncias “já conhecidas”, ele evoluiu seus conceitos para descrever os fenômenos já descritos e explicar o que ainda seria até então inexplicável.

² Mesmo após a queda da alquimia, alguns químicos estavam do lado do flogisto.

Apesar das respostas de Becher, não havia uma explicação para uma questão intrigante para a época: por que nada queima no vácuo? Na teoria de Becher, as terras pinguis e lapida poderiam se separar no vácuo, mas na teoria de Stahl, para que ocorra a combustão é necessário que o flogisto se separe da cal, mas isso só pode acontecer se, e somente se, houver algum tipo de meio material que receba flogisto, que é o ar.

Qualquer material inflamável só queima por que o seu flogisto é liberado para o ar, na ausência desse a combustão se torna impossível por causa da impossibilidade do flogisto fluir. Uma resposta simples, pois com poucas palavras ele nos deu uma nova solução que é ao mesmo tempo elegante, pois não abandonava a tradição milenar da filosofia grega, explicando coisas até então não explicadas e reexplicava o que já estava compreendido. Para os critérios científicos da época, foi uma boa resposta.

3.4 A reação da comunidade científica sobre o flogisto

Becher e Stahl conseguiram criar no século XVII uma teoria que, talvez por obra do acaso, não teve um concorrente logo de início, era satisfatória para quase todos os problemas da época e condizente com a filosofia grega. A consequência óbvia e imediata disso foi que a comunidade científica toda, ou quase toda, passou a adotar o flogisto como verdade e a partir dele buscou desenvolver a ciência.

O que veio a seguir foi que os manuais de ciências feitos nesse século instruíram os novos estudantes a abraçar o flogisto, mas os breves sonhos dos alquimistas em isolar o flogisto deu início a uma jornada que culminou na descoberta do oxigênio por Lavoisier e enterrar de vez a antiga teoria após muitos debates. E do mesmo jeito que Becher iniciou sua ciência respondendo questionamentos isolados, Lavoisier mostrou a verdade também respondendo questionamentos isolados sobre problemas que a teoria vigente era incapaz de resolver.

De acordo com Ladenburg (1911), um desses problemas foi uma previsão falha sobre a combustão de metais. Sendo a combustão o resultado da separação entre flogisto e cal, então espera-se que o produto final seja mais leve que a matéria-prima. Mas por quê na queima de metais ocorre o contrário? Em 1774 Pierre Bayen (7 de fevereiro de 1725, Châlons-sur-Marne, FRA – 15 de fevereiro de 1898, Paris, FRA) descobriu que o óxido de mercúrio se decompõe em mercúrio ao ser esquentado, perdendo massa no processo, depois veio a

descobrir que a suposta massa desaparecida na reação se tornou um gás. Descobertas como essas minaram lentamente a teoria do flogisto.

Uma das formas para manter o flogisto como teoria verdadeira foi a criação do princípio duplo do fogo por Lemery: que era a capacidade do fogo de capturar o ar e prendê-lo com o combustível durante a queima ou apenas separar cal e flogisto. Stahl e seus seguidores afirmavam que os poucos casos de ganhos de massa pós-combustão não chegavam a ser uma influência capaz de derrubar a sua teoria. Por causa disso a definição de flogisto foi alterada muitas vezes³.

3.5 A descoberta do oxigênio

Imagine o seguinte experimento, uma vela é acesa e um copo é emborcado sobre ela, a isolando da atmosfera. O que vem em seguida? A vela se apagará. Por quê isso aconteceu? Se você for um cientista do século XVIII, dirá que o flogisto que existia dentro da vela vazou e que este foi para o ar, quando ele ficou saturado a combustão cessou. Logo existe uma relação entre flogisto e o ar, mas como isso ocorre? Alguns cientistas da época tentaram responder a essa questão, seus experimentos consistiam em obter amostras de ar com muito ou pouco flogisto.

Por volta da década de 1770, de acordo com T. Kuhn (1962), houve três cientistas que conseguiram uma amostra isolada de oxigênio, e clamavam pelo título de descobridor:

- C. W. Scheele: conseguiu uma amostra pura, mas seu trabalho foi publicado tardiamente, deixando dúvidas se realmente foi o primeiro a tal feito.

- Joseph Priestley: dos três foi o primeiro que conseguiu isolar o oxigênio em 1774, mas sua amostra foi a menos pura, falhou em identificar o gás como um elemento novo, o preferindo chamá-lo de gás desflogistizado, pois deveria conter uma quantidade pequena de flogisto).

- Antony Lavoisier: com algumas dicas de J. Priestley conseguiu isolar o gás em 1775 e o fez de forma mais eficiente (ou mais pura), também foi o primeiro a identificar o gás como um novo elemento em 1776 e foi o primeiro a afirmar que ele era um gás comum na atmosfera e que ela era composta por mais de um tipo de gás (algo que Priestley nunca chegou a aceitar como verdade).

³ A mudança de definições de um termo na física pode ter duas causas: evolução na compreensão do fenômeno ou o princípio do fim daquela teoria. Isso não é algo necessariamente ruim, mas neste caso foi.

Quando Lavoisier realizou experimentos com o gás desflogistizado, viu que este acelerava a combustão e aumentava o brilho da chama, não turmava a água de cal, não dissolvia em água, não reagia com álcalis e reagia com metais para formar óxidos.

Logo ele percebeu que em seus frascos estava a resposta para as suas perguntas. Aquilo não era pobre em flogisto, mas era um outro tipo de gás. Experimentos posteriores vieram a revelar que o ar seria composto por dois tipos de gases, um revigorante (oxigênio) e um asfixiante, nitrogênio.

Voltando a nossa vela dentro de um copo emborcado: Lavoisier, em 1777, lançou em primeira mão uma nova explicação que concorreria diretamente ao flogisto, criando então a pedra angular que viria a ser a base da revolução química. Tal explicação consiste em dizer que a vela consumiu todo o oxigênio que havia dentro do interior do copo, fazendo a reação cessar.

3.6 Consequências

Lavoisier continuou seus estudos vendo cada tipo de gás, buscando alguma relação entre eles e para isso passou a usar sempre em seus experimentos a balança analítica. Apesar da balança ser uma invenção com milênios de existência, apenas a partir de sua época ela passou a ter uma precisão boa o suficiente para ser usada em laboratórios.

O resultado de várias experiências conduzidas por ele era sempre a mesma: a quantidade de matéria que existia antes da reação era a mesma após as reações. Sendo assim ele formulou uma nova lei: a conservação das massas.

3.7 A teoria do calórico

Apesar da eficiência em explicar perfeitamente a combustão sem recorrer ao flogisto, ainda pairava uma dúvida muito ligada ao fogo: o que é o calor e como ele passa de um corpo para o outro?

Para responder a essa questão foi criada uma nova teoria que ainda era bem semelhante ao flogisto, mas diferente. Em vez de uma substância especial que faz as coisas pegarem fogo ao sair para o ar, deveria existir uma substância que define a quantidade de calor em um determinado corpo: o calórico.

Por exemplo, imagine dois copos com água, um frio e o outro quente. O primeiro é pobre em calórico, enquanto o segundo é rico em calórico, se o conteúdo dos dois copos for misturado numa bacia teremos água morna (uma água com uma quantidade razoável de calórico). O físico teórico Joseph Black (Bordéus, FRA, 16 de abril de 1728 – Edimburgo, UK, 6 de dezembro 1799) provavelmente criou a teoria próximo do ano 1760. Black também foi o responsável por ter sido o primeiro a fazer a diferença entre calor e temperatura e foi um dos primeiros a usar o termômetro em experimentos científicos.

O termômetro não foi uma invenção feita para a física ou a alquimia, mas para a medicina tendo em visto que desde sempre sabe-se que a temperatura serve para medir a febre de uma pessoa, os aparelhos para realizar tal função eram chamados termoscópios, eram rudimentares e lhes faltavam precisão. Apenas na idade moderna, quando o médico italiano Santorio Santorio pegou um termoscópio emprestado de seu amigo, Galileu Galilei, para medir a febre de seus pacientes, marcando quão alto crescia o líquido no tubo, transformou o termoscópio num termômetro. Tal ato permitiu a abertura de estudos mais aprofundados sobre a natureza do calor (GOMES, 2012).

Joseph Black realizou experimentos misturando água e mercúrio a diferentes temperaturas. Em um desses, foi misturado 200 gramas de água fria com 200 gramas de mercúrio quente, o resultado foi uma mistura de água e mercúrio a 11°C , aproximadamente. O contrário também foi feito, 200 gramas de água quentes misturadas com 200 gramas de mercúrio frio geraram uma mistura de $37,5^{\circ}\text{C}$, aproximadamente (MAXWEL, 1872).

Uma diferença de $26,5^{\circ}\text{C}$, não é uma questão de imprecisão do equipamento, mesmo para a época. Black percebeu que estava diante de um novo fenômeno. Outros experimentos, mostraram uma relação entre um aumento de comprimento, volume e área quando metais são esquentados, ou a diminuição deles quando esfriados, complementou a nova teoria do calórico.

Segundo Gomes (2012), baseado nisso, Black foi o primeiro a diferenciar o conceito de calor e temperatura. Para Black:

- Calor é a sensação produzida pelo calórico livre presente nos materiais, sempre devendo ficar relacionada a sensação de algo.
- Temperatura é o grau de aquecimento de um material.

3.8 Razões para se preocupar

Foi realizado uma série de medidas em laboratórios e na natureza sobre as temperaturas e foi constatado que o gelo derrete a 0°C e que qualquer variação de temperatura pra mais o faz virar água, mas onde está a razão pra se preocupar? Foi medido a temperatura das calotas de gelo e neve que se formam na Europa durante o inverno, e após o fim desta época a temperatura delas é de 0°C . Com o sol jogando calor em cima delas, quanto tempo levaria para elas derreterem e alagarem várias cidades?

Segundo Gomes (2012), em seus experimentos sobre a mudança de estado físico da matéria, Black colocou gelo a 0°C e uma mesma quantidade de água a $0,5^{\circ}\text{C}$ numa sala a $4,4^{\circ}\text{C}$. Após meia hora foi constatado que a água já estava em equilíbrio térmico com a sala, enquanto o gelo só foi derreter após um pouco mais de 5 horas, mantendo a mesma temperatura e só entrou em equilíbrio depois de 10 horas e meia após o início do experimento.

Black então entendeu que o calor pode se manifestar de duas maneiras: uma forma que podemos sentir na nossa pele (o calor sensível) e uma que não podemos sentir, pois não se manifesta, que está latente e só se manifesta em temperaturas de fusão e ebulição (o calor latente). Sendo assim, as calotas estão perdendo calor latente e o seu gelo acaba derretendo lentamente, formando rios e riachos.

3.9 As qualidades do calórico

Antonie Lavoisier (26 de agosto de 1743, Paris-FRA – 8 de maio de 1794, Paris-FRA), após estudar nas melhores escolas de Paris, se formou em direito, mas nunca atuou na área, preferindo seguir uma carreira nas ciências naturais, os seus estudos levaram a criação da química e lhe rendeu o título de pai da química.

Segundo Luciano C. Gomes (2012), em seu primeiro escrito (“*De la combinaison de la matière du feu avec les fluides évaporables, et de la formation des fluides élastiques aëriiformes*”), publicado na “*Académie Royale des Sciences*” francesa em setembro de 1777, encontramos o termo fluído igneo, mas no “*Méthode de nomenclature chimique*” de 1787 foi usado o nome “*calorique*” para distinguir do “*chaleur*”, a diferença básica dos dois era que o primeiro é o próprio calor, enquanto o segundo o causava.

Fica evidente que a teoria do calórico não era uma coisa estática, mas estava em constante mudança e que chegou a assumir diversas descrições⁴. Lavoisier estava ciente de

4 Isso não significa que a teoria é falha, mas que havia um trabalho científico sério.

que o calor se apresentava em duas formas diferentes, visto que suas teorias se davam ao trabalho de explicar tanto o calor sensível quanto o latente.

De acordo com Lavoisier e outros teóricos, o calórico tem a capacidade de penetrar nos materiais e de se ligar a eles ou não. Uma partícula de calórico ligada a um material era chamada de calórico latente, se estivesse livre seria o calórico livre (GOMES, 2012).

Imagine uma pedra de gelo a -20°C sendo esquentada, ela está absorvendo calórico até que ao atingir a temperatura de 0°C , ela continua absorvendo calor sem aumentar a temperatura. Entre as temperaturas de -20°C e 0°C , o gelo estava absorvendo uma quantidade de calórico, e criando uma “atmosfera” de calóricos livres cujo movimento aumenta a temperatura; mas ao atingir 0°C , o gelo começa a absorver a atmosfera de calórico livre, se tornando líquido⁵.

Como a quantidade de calórico absorvido de cada material e uma quantidade específica de massa absorve uma quantidade específica de calórico (ou calor). A partir disso surgiu o termo “calor específico”, que viria a sobreviver após a queda desta teoria. Atualmente o termo calor específico significa a quantidade de calor necessária para que um grama de uma substância qualquer eleve a sua temperatura em 1°C , herança de nosso passado.

Não demorou muito para que a balança fosse usada para medir a massa de materiais em temperaturas diferentes, a não variação de massa indicava que o calórico tinha massa desprezível. Lavoisier criou um catálogo (ou proto tabela periódica) que continham o oxigênio, nitrogênio e calórico, sendo descrito como um elemento com a capacidade de alterar o estado físico da matéria, tendo massa desprezível.

3.10 A interação calórico – matéria

Apesar das alterações da definição do que é o calórico, ele em nenhum momento foi alterado a tal ponto que ficasse irreconhecível, prova disso é que do começo ao fim ele era descrito como um fluido, apesar de ter ganhado novas descrições a medida que a ciência ia evoluindo. Ele era considerado um fluido material com propriedades elásticas, constituído por partículas auto repelentes, mas que eram atraídas por outros tipos de matérias.

Por exemplo, um disco de aço quente esfriaria porque as forças auto repelentes das partículas de calórico seriam mais intensas que as forças de interação com a matéria, já um bloco de gelo tenderia a esquentar porque as forças de interação são maiores que as forças

5 O que explica a razão do calor específico da água ser maior que o do gelo.

auto repelentes do calórico presente no gelo e no estado de equilíbrio térmico essas forças são equivalentes. Tal definição explica a razão do porquê uma mesa em uma sala não começa a esquentar e pegar fogo do nada, visto que pela mecânica sabemos que tudo tende a ficar em equilíbrio (GOMES, 2012).

3.11 O princípio da decadência

A teoria do calórico explicava muitos fenômenos de sua época, sendo amplamente aceita no meio científico. Sua decadência começou entre um de seus adeptos que lhe dava todos os créditos e que a ajudou se desenvolver, o conde de Rumford. Benjamim Thompson (26 de março de 1753, Woburn, Massachusetts, EUA – 21 de agosto de 1814, Paris, FRA) foi um físico inglês que atuou como espião para a Inglaterra, após a derrota anglo-saxã na guerra de independência americana ele foi forçado a abandonar o país e deixar a esposa e filha, entrou na marinha inglesa e fugiu do cargo após ser acusado de vender informações de guerra para a França. Se estabeleceu na Baviera onde atuou como engenheiro militar e administrador, recebendo o título de conde Rumford (GOMES, 2012).

Thomson trabalhava numa oficina de canhões de bronze do arsenal de Munique, onde parte do processo de fabricação consistia em perfurar o bronze com uma broca, processo o qual gera uma quantidade absurda de calor. Vendo esse fato, isso lhe foi uma grande oportunidade para verificar a falta de peso do calórico

Suas primeiras hipóteses sobre a temperatura absurda no arsenal era que o calor gerado vinha das lascas de bronze junto com lascas de calórico latente, que se tornavam calórico livre. Seria fácil de testar se ele conseguisse produzir um canhão com o mínimo de lascas possíveis, o que ele conseguiu, fazendo com que uma broca a uma velocidade suficientemente alta perfurar o cilindro de bronze, mas lenta o bastante para gerar apenas uma pequena quantidade de lascas de bronze. Ele conseguiu produzir o canhão, adquirindo um pó, que experimentos posteriores mostraram ter a mesma quantidade de calor específico do bronze do canhão.

Quando um termômetro de mercúrio foi posto dentro do novo canhão, o termômetro registrou um aumento de $15,5^{\circ}\text{C}$ para $54,5^{\circ}\text{C}$, aproximadamente, com uma quantidade suficiente de calor para derreter um pouco mais de 51 Kg de gelo. Conde Rumford chegou a uma conclusão bem simples: as lascas de bronze não geravam o calor absurdo do canhão.

Seus primeiros experimentos não deram resultados, o que o levou a elaborar novos experimentos com uma bomba de ar. Após realizá-los, o que foi visto, ou não visto é que:

De acordo com Thompson (2012, apud, GOMES p.1057): “Creio que podemos concluir com segurança que TODAS AS TENTATIVAS PARA DESCOBRIR QUALQUER EFEITO DO CALOR SOBRE OS PESOS APARENTES DOS CORPOS SERÃO INFRUTÍFERAS (grifo do autor).”

Seus experimentos tinham começado a colocar em cheque a teoria do calórico, mas experimento nenhum é capaz de derrubar uma teoria por si só. Além do mais, os adeptos do calórico não viam nisso como uma evidência da não existência do calórico e nem como uma afronta a sua existência, afinal de contas, o calórico poderia não possuir um peso, assim como a luz e eletricidade.

Outro de seus experimentos foi o de perfurar um cilindro de bronze dentro de um tanque com água fria. Após horas a água já tinha evaporado e ainda havia a produção de calor excessivo, o que o fez repetir o seu último experimento anterior, mas com uma leve diferença (GOMES, 2012). Enquanto a água só tocava a parte externa da broca e do canhão, dessa vez ela teria contato com a parte interna, onde havia o atrito. Rumford relatou que o barulho produzido era insuportável e, ainda como no experimento anterior, a água evaporou por completo e o calor ainda era gerado.

Em seu parecer final, de acordo com Luciano Gomes (2012): “No debate sobre esse assunto, não deve ser esquecido de considerar que, em muitas circunstâncias notáveis, a fonte de calor gerado pelo atrito nessas experiências pareceu ser inesgotável. É desnecessário acrescentar que qualquer coisa que qualquer corpo solado, ou sistema de corpos, pode continuar a fornecer sem limitação, não pode possivelmente ser uma substância material, parece-me ser extremamente difícil, se não impossível, formar qualquer ideia distinta de qualquer coisa capaz de ser excitada e comunicada na forma em que o calor foi excitado e comunicado nessas experiências, a não ser o MOVIMENTO” (THOMPSON, 1798 apud ROLLER, 1950, p. 79-80, tradução e grifo do autor).

Mas onde isso refuta o calórico? Uma das propriedades do calórico é a de que ele deve ser conservar, mas a fonte de calórico parece ser infinita. Eis a primeira contradição da teoria. Isso não foi o suficiente para falsear ela, visto que ainda havia outros fenômenos muito bem explicados pelo calórico e que Rumford não poderia explicar: como a dilatação, a propagação do calor do sol no vácuo e da chama de uma vela se apagando⁶.

3.12 Um novo paradigma

Peço ao leitor que não confunda algumas coisas, Rumford pode ter realizado o

6 A resposta só viria com a teoria atômica.

primeiro experimento que veio a contrariar o calórico, mas não veio a derrubar a teoria. Seus experimentos ocorreram na década de 1790, já no ano de 1797 a Enciclopédia Britânica descrevia o calor como uma substância material (Gomes, 2012).

Não é porque uma teoria veio a receber uma crítica bem fundamentada que ela é falseada automaticamente, os caloristas também realizavam críticas a teoria do movimento (como ocorre a transferência de calor no vácuo?). A teoria do calórico viria a cair apenas algumas décadas mais tarde, com os estudos de outras áreas da física.

4 O CALOR COMO ENERGIA

4.1 A luz de acordo com a física

De acordo com Silva (2006), sir Isaac Newton foi o primeiro a descobrir que a luz do sol é composta pelas sete cores do arco-íris, graças aos seus experimentos em salas escuras e prismas, em suas pesquisas lhe surgiu um novo objetivo: usar as suas três leis recém-descobertas para explicar o comportamento da luz, criando então a teoria corpuscular da luz.

Christiaan Huygens foi um físico holandês e o cientista mais famoso que propôs e defendeu a teoria ondulatória da luz, rivalizando com a corpuscular de Newton. Nesta teoria a luz é uma onda, ideia baseada no fenômeno da difração.

Cada teoria tinha pontos fortes e fracos, com Newton usando as suas três leis para explicar a reflexão e falhando na difração e Huygens na situação inversa. Os experimentos e observações realizados por C. Huygens não tiveram o impacto que mereciam, visto que suas ideias ressurgiriam no começo do século XIX com os experimentos de Thomas Young e Augustin Fresnel sobre a interferência e difração da luz, fazendo com que esta fosse a teoria predominante por 1 século.

4.2 A interação luz – calor

4.2.1 *Marc-Auguste Pictet*

A ideia de que a luz e o calor possuem alguma interação é tão antiga quanto a invenção da roupa, visto que desde sempre a humanidade sabe que roupas escuras são mais adequadas para os dias frios, enquanto as mais claras devem ser para os dias quentes.

Só no começo do século XIX que os físicos passaram a tratar da situação como algo mais sério, visto que o físico francês Marc-Auguste Pictet (23 de julho de 1752 – 19 de abril de 1825) realizou um experimento de reflexão do frio (GOMES, 2012).

Tal experimento consistiu do uso de dois espelhos esféricos, um bulbo com gelo e um termômetro. Os dois espelhos foram postos um de frente ao outro, de tal forma que seus eixos principais ficassem alinhados e foi colocando o bulbo de gelo em um dos focos, com o

termômetro que foi possível observar que a temperatura no foco caía mais que nos seus arredores.

4.2.2 William Herschel

Também durante o ano de 1800, o físico William Herschel (Hânover, GER, 15 de novembro de 1738 – Slough, UK, 25 de agosto de 1822) desenvolveu seu próprio experimento sobre luz e calor, mas dessa vez usando um prisma, termômetros e filtros de cores (SILVA, 2006).

Deixando passar luz por alguns filtros de cores, Herschel mediu a temperatura de cada cor e viu que a temperatura aumentava do violeta para o vermelho, demonstrando que a luz e o calor não só possuem uma interação, mas também mostrando que essa ela depende da cor da luz e que quanto mais próximo ao vermelho, mais quente é a luz.

Para além do vermelho a temperatura continua crescendo, ou seja, havia um raio de luz invisível aos olhos humanos. Herschel chamou esse raio de calorífico, mais tarde renomeado para infravermelho, ele também mediu a sua reflexão, índice de refração e absorção.

4.2.3 A queda definitiva do calórico

Os estudos sobre a natureza ondulatória da luz ressurgiram ao mesmo tempo em que foram encontradas evidências de que a luz e o calor eram intimamente ligados, que o calor estava ligada ao movimento e os experimentos do conde de Rumford já haviam sido realizados e documentados. Na década de 1810 foi a época que a teoria do calórico foi mais amplamente aceita no mundo, mas já na década seguinte começou a ser desacreditada.

Apesar de todos os dados históricos, não se sabe qual foi a causa definitiva da queda da teoria do calórico e sendo este um dos mistérios da história da ciência. Sabe-se que os pontos colocados no primeiro parágrafo da seção foram importantes e que a conservação da energia (primeira lei da termodinâmica) teve um papel decisivo (GOMES, 2012).

4.3 A primeira revolução industrial

O carvão é usado pela humanidade desde a antiguidade, mas os serviços de extração sempre foram considerados um dos mais difíceis e desgastantes para um ser humano. De acordo com Kuhn (2017), na Inglaterra do século XVIII, diante das dificuldades de extrair a água que acumulava nas minas, foi criado um sistema simples de evaporação usando o próprio carvão da mina como combustível. Quando ela começou a ser usada pelas primeiras vezes, foi reparado que o vapor da água possui uma certa força, que bem direcionada poderia realizar um trabalho repetitivo que um homem faria. Esse imprevisto foi o início da revolução industrial.

Até a primeira metade do século XVIII, o processo de produção era baseada no trabalho de artesãos, daí vem o nome artesanato. Este era um processo lento, tornando o preço dos produtos finais mais caros. A primeira revolução industrial (meados de 1760 até meados de 1850) foi um processo na qual surgiram máquinas maiores que substituíram as máquinas menores dos artesãos. Levando-os a falência e trabalhar nas recém-criadas indústrias, baseadas nas máquinas de extração de água das minas de carvão, mas com um processo bem mais eficiente e com uma menor perda de vapor.

4.4 A máquina de Carnot

O desejo dos industriais por criarem máquinas cada vez mais eficientes, levou um maior investimento na ciência e acelerou as descobertas, fato este que fica evidente nos escritos de Sadi Carnot (1 de junho de 1796, Petit Luxembourg – 24 de agosto de 1832, Ivry-sur-Seine, FRA), “o estudo desses motores e de grande interesse, a sua importância é gigantesca, seu uso está aumentando continuamente, e eles parecem estar destinados a criar uma grande revolução que mudará o mundo civilizado” (CARNOT, 1824, p. 38, tradução do autor).

Carnot trata em seus escritos sobre o problema das grandes máquinas desperdiçarem muito vapor, perdendo rendimento, e propõe uma solução bem certa, Contudo, apesar de suas pesquisas estarem bem alinhadas com a realidade, elas não foram muito populares no meio científico e a baixa quantidade de cópias fez com que suas ideias ficassem esquecidas por algum tempo, também descreve o princípio da conservação do calor⁷, ou o princípio de Carnot: a potência de uma máquina decorre do processo de transporte do calor e este se conserva (NÓBREGA, 2009).

⁷ Não confundir com o princípio de conservação da energia.

Na época de Carnot a teoria dominante era o calórico e ele acreditava nela, fato evidente em algumas passagens, como em “não há nada para impedir a formação de vapor com calórico no corpo B...” (Carnot, 1897, p.54, tradução do autor).

4.5 A equivalência do calor e do trabalho

4.5.1 O experimento de Joule

O experimento de Joule foi realizado em 1847 por James Prescott Joule e William Thomson, o primeiro barão Kelvin, e serviu como uma confirmação das observações realizadas anteriormente por Joule.

Ele consistia de um aparelho criado por Joule onde um conjunto de paletas dentro de um recipiente fechado agitavam a água, um termômetro sensível media a temperatura da água e foi observado pelos dois que quando a água era agitada a mesma ganhava temperatura, ou seja, a energia cinética que a água veio a receber foi convertida em energia interna a medida que a mesma entrou em repouso.

Uma das consequências menos conhecidas do experimento de Joule e uma das mais importantes do ponto de vista experimental decorre do fato que ela estabeleceu um maior grau de importância as medidas de temperatura baseadas em termômetros de gás, visto que os seus graus de medidas eram independentes das propriedades peculiares de cada corpo termométrico (MAXWELL, 1872).

4.5.2 A conservação da energia

Segundo Tietz (2016), a conservação de energia foi criada originalmente por meios experimentais, mas ela foi se estabelecendo gradualmente pela primeira metade do século XIX. Podemos afirmar que um dos principais físicos que contribuíram para a adoção do conceito foi Julius von Mayer (25 de novembro de 1814, Heilbronn, ALE – 20 de março de 1878, Heilbronn, ALE). Após os seus estudos em Paris, viajou como médico para Jacarta, e acredita-se⁸ que o navio que se encontrava passou próximo ou dentro de uma tempestade, e que ele observou que as ondas chicoteadas pela tempestade eram mais quentes que a do mar

⁸ Não existem evidências suficientes para confirmar essa história, mas os seus trabalhos sobre o calor foram iniciados após essa viagem, nos levando a crer que algo aconteceu no caminho para Jacarta.

calmo. Inspirado pelo que vira na tempestade, passou a estudar física em fevereiro de 1841, data de sua chegada a Europa.

O seu primeiro trabalho, intitulado “Sobre a determinação quantitativa e qualitativa das forças (tradução do autor)” havia uma postulação da “lei da força de conservação”, mas não foi publicado, visto que continha erros fundamentais em Física. Posteriormente conseguiu publicar alguns trabalhos, inclusive o primeiro artigo que descrevia a conservação da energia e que a oxidação era um processo vital para as células. Infelizmente Mayer não foi levado a sério em sua época (TIETZ, 2016).

4.6 Hoje

4.6.1 O linguajar calorista nos dias de hoje

Os principais conceitos utilizados na termodinâmica são a energia interna e o calor, que significam, respectivamente, “o total de energia cinética e potencial de todas as moléculas de um dado sistema” (WYLEN, 1920, p. 71, tradução do autor) e “a forma da energia térmica transferida entre dois corpos em virtude da diferença ou gradiente de temperatura” (V. Wylen, 1920, p.59, tradução do autor).

Repare bem que o calor não é algo para ser possuído e nem fornecido, ele é uma forma de transferência de energia, e apesar das definições modernas muito bem conhecidas, os livros didáticos atuais insistem em usar um linguajar calórico pela sua facilidade de compreensão.

Como podemos ver pela descrição de Máximo e Alvarenga (*apud* GOMES, 2012), “portanto, **fornecendo** a mesma quantidade de **calor** a corpos diferentes, eles, em geral, apresentam **variações** diferentes em suas **temperaturas**”, um calorista facilmente concordaria, visto que apenas algo material pode ser fornecido.

Uma constatação que também é feita por Luciano C. Gomes, “quase dois séculos depois, os autores dos livros didáticos de física continuam usando o mesmo linguajar dos antigos caloristas” (Cad. Bras. Ens. Fís., 2012, p. 1065), esse fato se dá por ser mais simples explicar o calor como algo do que como forma, o que é bem aproveitado em aulas introdutórias de termometria.

O caso da aula descrita no anexo A.1 retrata muito bem essa situação, afinal de contas, admitindo que o aluno ainda está desenvolvendo a sua capacidade de abstração, é preferível que a mesma parta de um conceito mais simples até chegar em um mais complexo e correto

(método histórico construtivista).

O problema do linguajar não se limita apenas a esses conceitos, segundo Van Wylen e Gordon Jonh (1920), o calor específico⁹ é uma variação da energia interna no decorrer do tempo, enquanto o Pietrocola, Pogibin, Renata de Andrade e Talita Raquel (2016), em seu livro didático afirmam que ele é uma grandeza física que relaciona a **quantidade de calor fornecida** a um corpo ou **recebida** dele com sua variação de temperatura e sua massa (grifo do autor).

O anexo A.4¹⁰ mostra uma aula onde foi tentado driblar esse problema, mas começar uma aula contradizendo o livro é imprudente, visto que por ele é possível evoluir o conceito e fazer os estudantes irem acompanhando a evolução do termo e da ciência.

4.6.2 Definições básicas

Estando claro o que é energia térmicas e calor, elas podem ser mescladas com as definições mais básicas da física, como sistema (uma região do espaço ou quantidade de matéria que serão estudadas) e que podem ser descritos como aberto ou fechado e macroscópio ou microscópio (V. Wylen, 1920, p.14-15).

Apesar do que aparenta, é possível ver a olho nu os efeitos de fenômenos microscópicos, basta apenas o uso de um dilatômetro, como descrito na aula de dilatação no anexo B.2 e ela é um marco importante no currículo escolar, visto que a partir daqui o aluno entende que haverá duas “realidades” que ele deverá considerar a macroscópica e microscópica.

Aqui também serve como um teste de abstração para o ensino médio (normalmente um aluno encontra esse conteúdo no primeiro ou segundo ano, ou seja, com 15 ou 16 anos e é esperado dele alguma habilidade de abstração matemática).

Ao esquentar uma chapa quadrada, o tamanho de sua área é aumentado em uma pequena escala, o mesmo ocorre com um cubo. A demonstração matemática destas novas equações realizadas por um professor atento com a sua turma ou como atividade ou trabalho pelos alunos, são o verdadeiro teste de abstração esperado em suas faixas etárias.

9 Na mesma página é descrito outros dois coeficientes: calor específico a pressão constante e coeficiente de Joule-Thomson. Mas me limito ao calor específico a volume constante, pois este é o único tratado no ensino médio.

10 O anexo A.4 tem um título enganador (Aula de trocas de calor), mas decidi por esse nome, visto que era o mesmo termo do livro, preferindo uma padronização caso um terceiro decidisse avaliar o conteúdo da aula.

4.6.3 A primeira e a segunda lei da termodinâmica

Por serem de uma era pós-calórico, as quatro leis da termodinâmica estão um pouco salvas do problema do linguajar, tanto é que a descrição do Van Wylen e do Gordon Jonh (1920, p. 64) sobre a primeira lei da termodinâmica é “que durante um ciclo inteiro e fechado, a quantidade de calor é igual à quantidade de trabalho realizado pela máquina.”

“A quantidade de calor fornecida a um sistema pelo combustível aumenta sua energia interna e realiza um trabalho (PIETROCOLA, POGIBIN, ANDRADE, RAQUEL, 2016, p. 164).” é uma descrição mecânica do mesmo processo descrito em termos físicos pelo Wyalen e Jonh.

A visualização do anexo A.6 a primeira vista demonstra mais simplicidade, e ela é mais simples por causa da não necessidade de criar e evoluir termos, mas por poder usá-los de maneira direta. A própria descrição do que é a energia interna é simples, visto que ela é um conceito físico que se relaciona com a temperatura do corpo ou sistema (PIETROCOLA, POGIBIN, ANDRADE, RAQUEL, 2016).

Já a segunda lei da termodinâmica não tem a mesma sorte, visto que ela irá nos dizer que “é impossível construir uma máquina que funcione a ciclos e produza outros efeitos se não uma **transferência de calor** entre uma fonte fria e uma fonte quente (WHYLEN, JONH, 1920, p. 125, tradução e grifo do autor)”, enquanto no ensino médio temos que “é impossível construir um dispositivo que opere em um ciclo termodinâmico e não produza outros efeitos além da **passagem de calor** da fonte fria para a fonte quente (PIETROCOLA, POGIBIN, ANDRADE, RAQUEL, 2016, p. 169, grifo do autor).”

O anexo A.7 trás um retorno da história e evolução de conceito, visto que o problema destacado nos grifos ainda se perpetuam, o conceito de entropia não é abordado no livro Física em Contextos (PIETROCOLA, POGIBIN, ANDRADE, RAQUEL, 2016), mas fica subentendido na seção de problema aberto do capítulo 9, deixando uma brecha para ser trabalhado.

5 CONCLUSÃO

A história da termodinâmica mostra como a razão e a forma como entendemos o mundo estão em completa mudança, inspirando filósofos como Emanuel Kant e Thomas Khun a questionar a nossa capacidade de compreender o universo.

Afinal de contas, para Stahl o flogisto era real e teria sido comprovado como uma substância inexistente. Para nós o calor é energia em trânsito, mas quem nos garante que realmente é, que não haverá um futuro gênio que nos mostrará um possível erro? Lembre-se que isto é uma revolução científica e que elas sempre podem e vão ocorrer quando novas tecnologias e formas de investigação forem inventadas.

As mudanças causadas por revoluções quase sempre são deixadas de lado nas aulas de ciências nas escolas, causando uma perda de oportunidades em atividades e casos para serem analisados por estudantes do ensino médio.

Digo isto baseado em dois fatos que me aconteceram em salas de aula: num dos tópicos do anexo B, falo sobre como desenvolvi uma aula sobre geocentrismo e outra sobre heliocentrismo durante o primeiro semestre do ano letivo de 2018: as turmas do primeiro ano já estavam vendo sobre filosofia pré-socrática nas aulas de filosofia e na de física lhes foi ensinado como os pré-socráticos entendiam a forma da Terra.

A aula teve pontos positivos por duas razões: era multidisciplinar e alinhada com outra disciplina e, pela realidade deles, a aula de Física II estava andando no ritmo deles para que pudessem acompanhar. No final da aula, os alunos não só entendiam como os antigos entendiam o formato da Terra, mas também sabiam como refutá-la sem que eu precisasse me posicionar.

Essa sincronia com as outras disciplinas, usando da história da ciência, mostrou-se uma ferramenta poderosa para criar um maior interesse na disciplina, visto que os alunos com talentos para outras áreas tiveram uma base pessoal para partir nos conhecimentos do universo que ainda lhes eram ocultos.

REFERÊNCIAS

BRITO, Armando de Sousa e. **Flogisto, calórico & éter**. *Jornal Ciência & Tecnologia dos Materiais*, Vol. 20. Lisboa, PT. 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.mec.pt/pdf/ctm/v20n3-4/v20n3-4a08.pdf>>. Acesso em: 24/08/2019.

CARNEIRO, Neri P. **Porque A Filosofia Nasceu Na Grécia**. *Web Artigos*. Rolim de Moura - RO, 2 de abril de 2008, filosofia. Disponível em: <<https://www.webartigos.com/artigos/porque-a-filosofia-nasceu-na-grecia/5150>>. Acesso em: 01/06/2019.

CAUTI, Carlos. **Temístocles, o magistrado do mar**. *Aventuras na história*. Roma – ITA, 11 de fevereiro de 2016, civilizações. Disponível em: <<https://aventurasnahistoria.uol.com.br/noticias/civilizacoes/temistocles-o-magistrado-do-mar.phtml>>. Acesso em: 01/06/2019.

COSTA, Ricardo da. **A expansão árabe na África e os Impérios Negros de Gana, Mali e Songai (sécs. VII-XVI)**. São Paulo, SP, 2009, artigos. Disponível em: <<https://www.ricardocosta.com/artigo/expansao-arabe-na-africa-e-os-imperios-negros-de-gana-mali-e-songai-secs-vii-xvi>>. Acesso em: 01/06/2019.

EDITORS, History.com. **Industrial Revolution**. *History*. Nova Iorque, EUA, 9 de setembro de 2019. Disponível em: <<https://www.history.com/topics/industrial-revolution/industrial-revolution>>. Acesso em: 03/06/2019.

ENCYCLOPAEDIA Britannica. Edimburgo: Encyclopaedia Britannica. Disponível em: <<https://www.britannica.com/biography/Johann-Joachim-Becher>>. Acesso em: 08/09/2019.

GOMES, L. Carvalhais. **A ascensão e queda da teoria do calórico**. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*. Maringá, PR, v. 28, n. 3, p. 1030-1073. Dezembro de 2012. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/viewFile/2175-941.2012v29n3p1030/23609>>. Acesso em: 27/08/2019.

IBGE. **Define a data de término do período de transição definido na RPR 01/2005 e dá outras providências sobre a transformação entre os referenciais geodésicos adotados no Brasil**. R. PR n°. 01/2015. 24 de fevereiro de 2015. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/rpr_01_2015_sirgas2000.pdf>. Acesso em: 09/09/2019.

INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS. Pergunte a um astrônomo. Disponível em: <<https://www.iag.usp.br/astronomia/pergunta/1425505630>>. Acesso em: 27/08/2019.

INVIVO. Manguinhos, RJ: Invivo Fundação Oswaldo Cruz. Disponível em: <<http://www.invivo.fiocruz.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?inford=1456&sid=9>>. Acesso em: 27/08/2019.

- INVIVO. Manguinhos, RJ: Invivo Fundação Oswaldo Cruz. Disponível em: <<http://www.invivo.fiocruz.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?inford=1454&sid=9>>. Acesso em: 27/08/2019.
- KUHN, Thomas S. **A estrutura das revoluções científicas**, 13° ed. - 1° reimpressão. São Paulo, SP. Editora Perspectiva Ltda. 2017.
- MARÍAS, Julián. **História da filosofia**, 1 ed. Madri, ESP. Martins Fontes, 2004, cap. 1.
- MARTINEAU, Jonh. **Quadrivium, as quatro artes liberais clássicas da aritmética, da geometria, da música e da cosmologia**, 4° impressão. São Paulo, SP. É realizações Editora, 2014, Livro VI.
- LADENBURG, Albert. **History of Chemistry**. Revised Edition. Chicago. University Chicago Press. 1911, cap. 1.
- MAXWELL, J. Clerk. **Theory of Heat**, 3° ed. Londres, Longmans, Green & Co, 1872. p. 51.
- NATÁRIO, José. **O GPS e a Teoria da Relatividade**. Braga, PT - Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. 2015, p. 12. Disponível em: <https://sprg.tecnico.ulisboa.pt/media/cms_page_media/21/GPS.pdf>. Acesso em: 27/08/2019.
- NÓBREGA, Mayane Leite da. **Segunda lei da termodinâmica: os caminhos percorridos por William Thomson**. Dissertação (Filosofia e história da ciência). Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana, Salvador, BA, 2009. cap. 2. Disponível em: <<https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/16043/1/Mayane%20Leite%20da%20Nobrega.pdf>>. Acesso em: 10/10/2019.
- POPPER, Karl. **O mundo de parmênides**, 1° ed. São Paulo, SP. Editora UNESP, 2014.
- REALE, Giovanni. **História da filosofia antiga**, 3° ed, v. 1. São Paulo, SP, Edições Loyola, 1993. Primeira parte.
- ROQUE, Tatiana. **História da matemática**, 1° ed. Rio de Janeiro, RJ, Zahar, 2012, cap. 2 e 3.
- SADI, Carnot. **Reflections on the Motive Power of Heat and on Machines Fitted to Develop That Power**, segunda edição. Londres. Chapman & Hall. 1897. Disponível em: <<https://www3.nd.edu/~powers/ame.20231/carnot1897.pdf>>. Acesso em: 08/10/2019.
- SILVA, Adriano Aparecido da. **Crônicas da luz: uma breve história da óptica**. Monografia (física licenciatura) – Instituto de Física, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG. 2006. Disponível em: <http://www.infis.ufu.br/infis_sys/pdf/ADRIANO%20APARECIDO%20DA%20SILVA.pdf> Acesso em: 07/10/2019.
- TIETZ, Tabea. **Julius von Mayer – Energy can neither be created or destroyed**. Scihi,

Potsdam, GER, 2016. Disponível em: <<http://scih.org/julius-von-mayer-energy/>>. Acesso em: 10/10/2019.

WYLEN, Van. JONH, Gordon. **Thermodynamics**, 1^o ed. John Wiley & Sons, Nova Iorque, EUA. 1963. p. 64-17, 124.

ANEXO A.1 – AULA DE TEMPERATURA

A.1.1 Objetivos

- Compreender as quatro teorias que explicavam ou explica o calor (os quatro elementos da natureza, flogisto, calórico e teoria atômica).
- Diferenciar calor de temperatura.
- Conhecer as diferentes escalas termométricas e a relação entre elas.

A.1.2 Metodologia

Explicar o mundo do ponto de vista de Aristóteles, como a sua filosofia foi insuficiente para Becher e Stahl e uma rápida explicação das teorias que as sucederam (calórico e teoria atômica).

Foi estabelecido o conceito de calor e temperatura, e a partir disso foi apresentado as três escalas principais (Celsius, Fahrenheit e Kelvin) e como criar uma equação para comparar as escalas.

A.1.3 Avaliação

Por meio da participação da aula teórica, empenho na resolução da atividade em sala.

A.1.4 Materiais

- Pinceis.
- Uma régua para quadro branco.

ANEXO A.2 – AULA DE DILATAÇÃO LINEAR

A.2.1 Objetivos

- Adquirir o conhecimento de um fenômeno pouco conhecido, mas comum no dia a dia.
- Entender a compreensão da dilatação entre as teorias alquímicas e físicas.

A.2.2 Desenvolvimento

Sabendo que a dilatação é um processo na qual um objeto aumenta de tamanho enquanto é esquentado ou diminui quando é esfriado, foi mostrado como o calórico era a única teoria capaz de explicar o ocorrido, visto que uma coisa não aumenta de tamanho só por estar se movendo.

Após isso, é lembrando da teoria atômica e que o maior grau de agitação das moléculas eram os responsáveis pela expansão do volume do objeto. A equação de dilatação linear é apresentada aos alunos e exemplos foram resolvidos, seguido de uma atividade para melhorar a fixação dos termos.

A.2.3 Avaliação

Por meio da participação da aula teórica, empenho na resolução da atividade em sala e compreensão dos efeitos da dilatação em situações e tecnologias atuais.

A.2.4 Nota de aula

Por falta de recursos e pela questão do piso da sala ser de madeira, não foi possível realizar um experimento com o dilatômetro.

A.2.5 Materiais

- Água
- Dilatômetro.

- Fonte de calor.
- Termômetro.

ANEXO A.3 – AULA DE DILATAÇÃO SUPERFICIAL E VOLUMÉTRICA

A.3.1 Objetivos

- Mostrar casos de dilatação em mais de uma dimensão e suas consequências.
- Desenvolver a capacidade de compreensão de demonstrações de equações.
- Compreender o significado dos coeficientes de dilatação e o significado de dimensões.

A.3.2 Desenvolvimento

Foi revisado a equação de dilatação linear e o significado de cada variável e apresentado o fenômeno da dilatação superficial, além de anunciar previamente a equação dela e do significado de cada variável.

Foi desenhado no quadro uma chapa quadrada de lado L_0 e que após ela aquecer, a chapa ficou com tamanho igual a L , a partir daí foi calculado com bastante calma e simplicidade cada linha e passo até chegar a equação final. O mesmo não foi feito para a dilatação superficial. Exemplos foram resolvidos para ambos os casos.

A.3.3 Avaliação

- Por meio da participação da aula teórica, empenho na resolução da atividade em sala.
- A demonstração da equação de dilatação volumétrica foi passada como trabalho para casa, a fim de que eles pudessem praticar demonstrações matemáticas.

A.3.4 Materiais

- Água.
- Béquer.
- Uma fonte de calor.

-Esferas e anéis metálicos de materiais diferentes.

ANEXO A.4 – AULA DE TROCAS DE CALOR

A.4.1 Objetivos

- Diferenciar como as teorias alquímicas e modernas explicavam o mesmo fenômeno.
- Reconhecer as equações e variáveis envolvidas.
- Compreender e interpretar um gráfico de temperatura por calor.
- Resolver problemas em sistemas isolados termicamente e não isolados.

A.4.2 Metodologia

Por que existem geleiras no verão europeu? Foi lembrado como a teoria do flogisto era incapaz de responder essa e outras questões, dando lugar a teoria do calórico. Ainda nas teorias antigas, veio a surgir os termos calor sensível e calor latente e que havia uma diferença entre calor e temperatura.

A equação foi apresentada junto com cada uma das variáveis de massa, calor sensível, variação de temperatura e caloria. Chegando na teoria moderna, é reexplicado a real causa do aquecimento e porquê os físicos decidiram por manter a nomenclatura alquímica. Exemplos foram resolvidos em sequência, junto com a plotação em gráficos.

A.4.3 Avaliação

- Por meio da participação da aula teórica, empenho na resolução da atividade em sala.

A.4.4 Materiais

- Pinceis.
- Uma régua para quadro branco.
- Termômetro.
- Blocos pequenos de diferentes metais.

- Água.
- Uma fonte o suficiente de calor.

ANEXO A.5 – AULA DE SOBRE A REVOLUÇÃO INDUSTRIAL E MÁQUINAS A VAPOR

A.5.1. Objetivos

- Entender o que é uma máquina térmica e os primeiros modelos inventados por Heron de Alexandria e na Inglaterra do século XVIII.
- Compreender o que foi a revolução industrial e o impacto da física sobre ela.
- Entender o que é o trabalho de um gás e dominar a equação que o descreve.

A.5.2 Metodologia

Foi realizado com os alunos uma conversa sobre o que foi a primeira revolução industrial e quais foram os impactos dela no mundo e na sociedade e as suas opiniões sobre os eventos do século XVIII, também foi feito um paralelo com os dias atuais.

Foi apresentado uma máquina térmica e como o vapor a faz funcionar, o significado de trabalho é trazido das aulas de mecânica para a termodinâmica e a equação do trabalho de um gás foi apresentado com cada uma de suas variáveis.

O princípio da máquina e ciclo de Carnot foram montados em sala de aula,

A.5.3 Avaliação

- Participação em aula teórica e na correção de atividades.
- Apresentação de atividades em um caderno.

A.5.4 Notas de aula

Experimentos são sempre muito produtivos, mas a apresentação de gifs ou vídeos sobre o

funcionamento de uma máquina térmica é mais bem-vindo nesse caso (visto que o vídeo pode mostrar a máquina funcionando por dentro).

A.5.5 Materiais.

Material base: pincéis e quadro branco.

No caso de ser usado gifs ou vídeos: uma televisão ou um computador e projetor.

No caso de ser usado experimentos, recomendo uma máquina de Heron.

-Uma lata de refrigerante;

-Dois canudos dobráveis.

Água e uma fonte de calor.

ANEXO A.6 – AULA DE SOBRE A PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

A.6.1 Objetivos

-Reconhecer o que é calor, energia e trabalho e todas as suas nuances.

-Aprender a primeira lei da termodinâmica e descobrir a existência das outras quatro.

-Compreender por meio da primeira lei as quatro transformações (isotérmica, isovolumétrica, isobárica e adiabática).

A.6.2 Metodologia

Por ser uma lei, não houve uma demonstração dela, mas foi apresentado o que era cada uma de suas variáveis e como “modificar” a lei para descrever cada uma das transformações. Foi usado gráficos para mostrar como representar cada uma das delas.

A.6.3 Avaliação

Através da participação em aulas teóricas, na apresentação das atividades propostas e na correção das mesmas.

A.6.4 Materiais

- Pincéis.
- Régua para quadro branco.

ANEXO A.7 – AULA SOBRE ENTROPIA E O MOVIMENTO PERPÉTUO

A.7.1 Objetivos

- Compreender a segunda lei da termodinâmica.
- (Tentar) compreender o significado de entropia.
- Apresentação de máquinas de movimento perpétuo e geradores de energia infinita.

A.7.2 Metodologia

É apresentado a segunda lei da termodinâmica e em toda a sua estranheza, além das consequências dela na vida de Rudolf Clausius. Em seguida é dito como a entropia atua nos nossos dias, citando exemplos do cotidiano (como a própria bagunça da sala de aula) e ela atua na seta do tempo, nos impedindo de voltar no tempo.

Após isso é lembrado das máquinas térmicas, como a segunda lei atua sobre elas. Tendo esses conceitos já estabelecidos, podemos explicar em sala de aula o porquê eles os movimentos perpétuos e geradores de energia infinita são impossíveis.

A.7.3 Avaliação

- Participação nas aulas teóricas.
- Concurso de grupos para identificar qual ou quais são as falhas em modelos de geradores de energia infinita ou de movimentos perpétuos.
- Entrega de atividades e correção das mesmas.

A.7.4 Notas

Pela inexistência de movimentos perpétuos, se faz necessário a presença de gifs ou vídeos sobre exemplos de motores assim, ou de desenhos muito bem elaborados e didáticos para que os alunos possam visualizar o movimento desejado.

Experimentos só seriam úteis caso o objetivo seja fazer eles tentarem construir uma máquina de movimento perpétuo e identificarem o porquê dela não funcionar.

A.7.5 Materiais

- Pincéis.
- Televisão ou um computador com projetores.

ANEXO A.8 – AULA SOBRE A SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA

A.8.1 Objetivos

- Melhorar as habilidades matemáticas para realizar cálculos de rendimento.

A.8.2 Metodologia

É lembrado que a diferença entre calor e temperatura e que o fluxo da energia térmica é da fonte quente pra fria. Tendo os conceitos teóricos já reestabelecidos, é mostrado a equação de rendimento de uma máquina térmica e de suas variáveis.

É realizado alguns exemplos, sendo os últimos com as fontes frias e quentes em mesma temperatura e o outro com a fonte fria em zero Kelvins.

A.8.3 Avaliação

- Participação na aula teórica.
- Entrega de atividades e a correção da mesma.
- É verificado se algum aluno consegue “deduzir” a terceira lei da termodinâmica através dos últimos exemplos.

A.8.4 Materiais

-Pincéis.

-Apagador.

ANEXO B – AULA DE ASTRONOMIA

B.1 Aula de geocentrismo

B.1.1 Objetivos

-Ligar a filosofia grega e eventos naturais com o desenvolvimento da física.

-Fazer o aluno usar de conhecimentos prévios adquiridos de outras disciplinas para pensar numa solução para problemas aparentemente impossíveis.

B.1.2 Teorias científicas aproximadas e ultrapassadas

De acordo com Natário (2015), o geocentrismo é uma visão de mundo ultrapassada, teve seu momento de glória e é bem conveniente nos dias de hoje, pois é melhor que o GPS considere a Terra parada no universo do que calcular a rotação e translação da terra, depois achar o melhor caminho para um supermercado e converter tudo isso para um trajeto simplificado na tela de um celular. A essas teorias erradas, mas ainda úteis chamamos de teorias aproximadas.

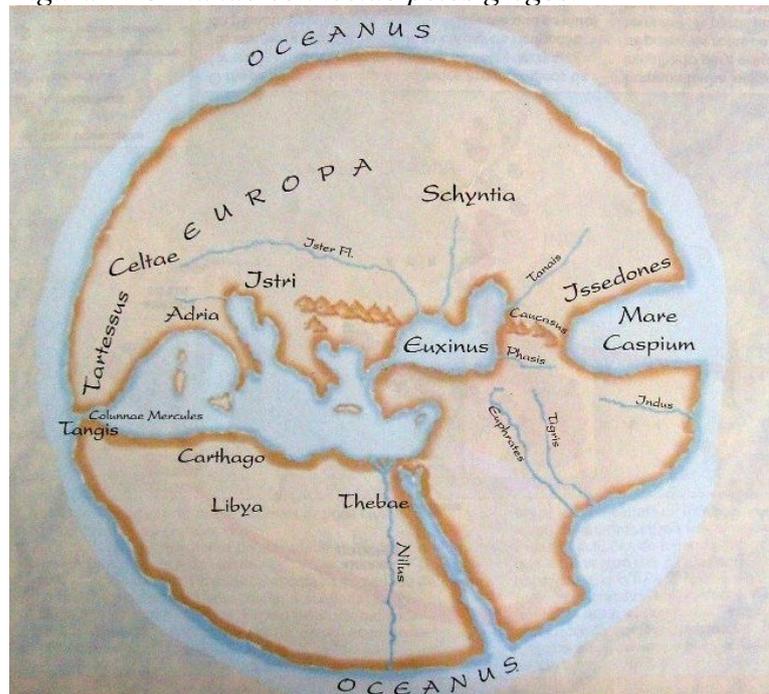
B.1.3 Tales de Mileto e seu Mapa Mundi

Como já foi dito no segundo capítulo, Tales de Mileto tentou criar o primeiro mapa mundi e acabou tendo conclusões bastante óbvias, porém erradas (visto que o mundo conhecido pelos gregos era bem limitado, vide o mapa mais abaixo).

Observe o mundo conhecido, vejam que existe muita água por aí (lagos, o Mediterrâneo) e que o mundo parece ser arrodado pelo mar. Tales entendeu uma coisa simples: tudo veio da água. E isso faz bastante sentido, se parar para pensar, todos os seres vivos precisam de água para viver, tem muita água por aí e as frutas ressecam quando se estragam e desaparecem na decomposição.

Como a Terra está cercada e suspensa no Okeanos, semelhante a um barco. O movimento das ondas do Okeanos também afetam o planeta, quando são fortes o suficiente para serem sentidos, os chamamos de terremotos.

Figura 1: O mundo conhecido pelos gregos.



Fonte: https://1.bp.blogspot.com/_Eg5qoI-xVRM/SIUotmVXUyI/AAAAAAAAARY/FUQliiw82Is/w1200-h630-p-k-no-nu/4.Mundo+conhecido+pelos+Gregos.JPG

Anaximandro questionou o seu mestre: onde o okeanos está suspenso? A terra está suspensa no okeanos, este está onde? Num aquário? E onde está o aquário? O problema se torna uma regressão infinita, logo está incorreto.

B.1.4 A perfeição dos círculos para os gregos

É fácil entender e convencer alguém que o círculo é a forma da perfeição, basta apenas olhar para algo perfeitamente esférico ou redondo (como a bola de neve na figura mais abaixo). A própria bola de neve serve como prova para revelar aos alunos a razão de crer nisso e serve como ponto de partida para entender a filosofia dos gregos já posta nos capítulos anteriores e o que virá a seguir (apesar de não conter nenhuma novidade).

Foi baseado nisso que pode-se remontar a visão de mundo de Anaximandro: tem superfície circular por ser perfeita, é cilíndrica por ter profundidade, está suspensa no meio do nada por não está suspensa em mais nada, vivemos na superfície que convenientemente chamamos de superior e os planetas fazem órbitas circulares.

Figura 2: A perfeição da esfera numa bola de neve.



Texto 1: Fonte:

<https://br.pinterest.com/pin/6403624448203084/?lp=true>

Aqui acabou entrando a genialidade de alguns alunos, eles afirmaram que Anaximandro tinha descoberto a gravidade, pois ele afirmava que era as forças das estrelas que mantinha a terra no centro. De fato, bem parecido com a gravidade, mas a gravidade tem outros elementos que Anaximandro não considerou (apesar de achar que ele chegou bem perto).

B.2 Aula de heliocentrismo

B.2.1 Objetivos

- Ligar a filosofia grega e eventos naturais com o desenvolvimento da física.
- Fazer o aluno usar de conhecimentos prévios adquiridos de outras disciplinas para pensar numa solução para problemas aparentemente impossíveis.
- Encontrar as refutações para as “soluções errôneas” da aula anterior.

B.2.2 Ainda no geocentrismo

Aristarco de Samos (310 a.C. - 230 a.C.) foi um filósofo grego e conhecedor da

matemática, baseado em suas próprias observações das estrelas, refez os cálculos de Hiparco sobre as distâncias Terra-Lua e Terra-Sol e inovou aplicando cálculos semelhantes nas estrelas, descobrindo que elas não estavam a uma mesma distância, como afirmara Aristóteles (ROQUE, 2012).

Cláudio Ptolomeu (90 - 168) desenvolveu o mais preciso modelo geocêntrico composto por 39 diferentes modelos de epicilos para modelar os movimentos dos corpos celestes (MARTINEAU, 2014), questionou Aristóteles e criou problemas que só viriam a ser resolvidos séculos mais tarde (KUHN, 2017).

B.2.3 Séculos mais tarde

Por uma série de razões (a queda do império romano do ocidente, a invenção da álgebra¹¹, entre outros) a Europa e o mundo árabe (Arábia, Magreb, Levante, Pérsia...) professaram o geocentrismo por séculos, ambos por influência de Aristóteles. A principal razão que deu o sucesso do geocentrismo por milênios foi a demora da invenção do telescópio, que ocorreu no ano de 1608 por Hans Lippershey nos Países Baixos e aprimorada por Galileu Galilei no ano seguinte após vários experimentos.

B.2.4 Planetas, o que são?

Planetas são corpos celestes cuja a definição mudou várias vezes na história. Na Grécia antiga para ser considerado um planeta bastava estar no céu, brilhar e viajar livremente, é uma definição bem errônea, pois ela considera a Lua e o Sol como planetas e desconsidera a própria Terra (MARTINEAU, 2014).

O geocentrismo tem algo de belo em si, pelo menos até a idade média. Deus fez o mundo em quantos dias? Sete. Quantas notas musicais existem? Sete. Quantos planetas existem? Sete (Lua, Mercúrio, Vênus, Sol, Marte, Júpiter e Saturno). Quantos pecados capitais existem? Sete. Quantos metais existem? Sete¹² (ouro, mercúrio, chumbo, ferro, cobre, prata e estanho). Mas não é de beleza que vive a ciência.

11 Na idade antiga, haviam métodos matemáticos ligados a diferentes profissões. Os métodos usados por um administrador não serviriam pra levantar um templo, que por sua vez não serviriam pra levantar uma torre. A álgebra permitiu que tais técnicas fossem unificadas em uma matemática comum, mas tal processo levou séculos pra ser concluído (ROQUE, 2012).

12 Conhecidos até a idade média (MARTINEAU, 2014).

Com o telescópio aperfeiçoado por Galileu Galilei e apontado para o céu, a teoria heliocêntrica ganhou forças, com as órbitas de Copérnico o heliocentrismo tinha previsões tão boa quanto o geocentrismo e o Sol ganhou seu lugar no centro do universo, com as órbitas circulares de Kepler o heliocentrismo se estabeleceu como a teoria dominante (KUHN, 2017). Agora para ser um planeta bastava girar ao redor do sol, o que lhe tirou o posto de planeta, a Lua por girar ao redor da Terra também o perdeu e a Terra foi reclassificada de centro do universo para planeta.

B.2.5 As notas musicais e Ceres

Com o deslocamento do Sol para o centro do universo, o número de planetas caiu para seis (Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter e Saturno). A harmonia perfeita começaria a desabar com Galileu? Talvez, mas por aquele momento uma lei física já ultrapassada daria uma previsão bem interessante sobre a natureza: a lei de Titius-Bode (1750), ou lei de Bode, e era bem simples:

-Pegue a seguinte sequência numérica: 0, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192, 384...

-Adicione quatro em cada um deles: 4, 7, 10, 16, 28, 52, 100, 196, 388...

-Ao comparar as distâncias aproximadas de cada planeta com a sequência acima, vê-se um padrão, mas não havia um planeta que correspondesse com o número 28 e foi lançado uma previsão: que numa distância de 28 unidades existe um planeta desconhecido. Em 1801, Giussepe Piazzi descobriu a localização de Ceres que passou a ser considerado o mais novo planeta do sistema solar (MARTINEAU, 2014).

Ceres chamou tanta atenção dos cientistas da época que a região do espaço dele começou a ser bem mais estudada e observada. A situação se tornou tensa: um ano depois de achar Ceres foi encontrado um novo planeta (Palas), alguns anos depois foi a vez de Juno e mais alguns anos mais tarde foi encontrado Vesta, até chegar a um total de 20 planetas no sistema solar.

A situação forçou os astrônomos a repesarem o significado de planeta, com a nova definição a lei de Bode foi falseada. Tal situação veio a se repetir no ano de 2006, quando Plutão foi reclassificado como planeta anão por novas descobertas sobre a sua região do espaço.